JJE

messen ■ steuern ■ regeln

msr



VEB Verlag Technik Berlin
EVP: 4,— M
ISSN 0026-0347

3/89



messen ■ steuern ■ regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Zum Titelbild:

Der Einsatz assoziativer Speicher in lernenden Regelungen ist eine Thematik von hoher Aktualität. Grundlage dafür sind neurobiologisch motivierte und mathematisch begründete Konzepte, die sich am menschlichen Lernvorgang orientieren. Unser Titelbild, das dem interessanten Beitrag auf S. 98 zugeordnet ist, zeigt einen Lernvorgang nach 30 Trainingsschritten im Verhältnis zur tatsächlich nachzubildenden Flächenkontur.

Titelgrafik: G. SCHWESINGER

3
1989

32. Jahrgang
März 1989

ISSN 0026-0347

VEB
VERLAG TECHNIK
BERLIN

Aufsätze

H. Tolle, J. Militzer, E. Ersü

Zur Leistungsfähigkeit lokal verallgemeinernder assoziativer Speicher und ihren Einsatzmöglichkeiten in lernenden Regelungen[1)]

0. Einleitung

Der Mensch ist nach einem Lernvorgang in der Lage, ohne erkennbaren Modellierungsaufwand komplexe, nichtlineare Strecken verschiedenster Art robust, d. h. trotz Variationen, zielgerichtet zu beherrschen. Ein diese Leistungen am ehesten imitierender, klassischer mathematischer Ansatz ist die adaptive Regelung, bei der laufend Parameter eines in seiner Struktur vorab festgelegten, i. allg. linearen Prozeßmodells geschätzt und Parameter eines in seiner Struktur vorab gewählten, i. allg. ebenfalls linearen Reglers daran angepaßt werden. Das heißt, es werden pendelnd jeweils einzelne Arbeitspunkte des Prozesses betrachtet.

Ein stärker am Verhalten des Menschen orientierter Ansatz ist der „lernende Regelkreis" von E. Ersü [1]. Dabei wird schrittweise ein nichtlineares Prozeßmodell aus Prozeßmeßwerten aufgebaut und ein nichtlinearer Regler über ein Gütekriterium generiert, d. h. die Strecke in ihrer gesamten nichtlinearen Ausprägung unmittelbar erfaßt.

Im Abschnitt 1 wird dieser lernende Regelkreis zunächst erläutert und sein Verhalten an einem Beispiel charakterisiert. Abschnitt 2 diskutiert die Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der darin benutzten lokal verallgemeinernden Speicher generell, Abschnitt 3 stellt ein neurobiologisch motiviertes Konzept und Abschnitt 4 ein mathematisch begründetes Konzept dazu vor. Im Abschnitt 5 werden die Testprozeduren für einen Vergleich dieser Speicherkonzepte angegeben und die relative Leistungsfähigkeit beider Speicherkonzepte diskutiert. In der Zusammenfassung wird auch auf geplante, weiterführende Arbeiten hingewiesen.

1. Lernender Regelkreis nach E. Ersü

Die hohe Leistungsfähigkeit des Menschen bei der gezielten Beeinflussung seiner Umgebung basiert auf dem Zusammenspiel umfangreicher Sensorik, vielfacher Freiheitsgrade der Aktorik/Motorik und einer geeigneten, hierarchisch organisierten Informationsverarbeitung, die als Intelligenz bezeichnet werden kann. „Intelligenz" ist dabei als Maß dafür anzusehen, wie geschickt Information abgespeichert und dann ziel- oder verhaltensorientiert verarbeitet bzw. zu neuer, i. allg. kompakterer Information synthetisiert wird.

J. Piaget unterscheidet in [2] in diesem Zusammenhang zwischen der abstrakte bzw. symbolische Information handhabenden „begrifflichen Intelligenz", die mathematisch/softwaremäßig mit den sogenannten „Methoden der künstlichen Intelligenz" nachgebildet wird und der weitgehend nach einem Lernvorgang in das Unterbewußtsein abgedrängten automatischen Handhabung von Problemen der täglichen Routine, der „senso-motorischen Intelligenz". Beide Arten der „Intelligenz" sind eng verknüpft, so daß man versuchen kann, Grundstrukturen der intelligenten Informationsverarbeitung über eine Zusammenführung psychologischer — also genereller — und neurobiologischer — also den Aufbau des Gehirns berücksichtigender — Erkenntnisse zu motivieren. Ein so konzipierter, die senso-motorische Intelligenz weitgehend nachbildender und damit die Verfahren der künstlichen Intelligenz ergänzender bzw. abrundender Strukturansatz ist der 1980 von E. Ersü entwickelte lernende Regelkreis.

J. Piaget charakterisiert in [2] das „intelligente Verhalten" durch „die Frage, die dem Suchen die Richtung gibt", „die Hypothese, welche die Lösungen vorausnimmt" und „die Kontrolle, die die Aktionen auswählt". Der auf das Ziel ausgerichteten Frage entspricht im lernenden Regelkreis ein Gütekriterium, in dem die Wünsche an das Prozeßverhalten formuliert werden. Die die Lösungen vorausnehmende Hypothese wird durch ein prädikatives Prozeßmodell dargestellt, das aus der Eingangs-/Ausgangssituation zum aktuellen Abtastzeitpunkt kT_s (T_s Abtastintervall) und zu vergangenen Zeitpunkten $(k-1)\,T_s$, $(k-2)\,T_s, \ldots$ das Ausgangsverhalten des Prozesses zum zukünftigen Zeitpunkt $(k+1)\,T_s$ vorhersagt. Dann kann über eine Optimierung mit Hilfe des Gütekriteriums in einer „Lernebene" über das Prozeßmodell die für die Situation gemäß der Prozeßkenntnis jeweils günstigste Stellaktion ermittelt und für den Regelkreis bereitgestellt werden. Die die Aktionen auswählende Kontrolle wird i. allg. diese günstigste Stellaktion benutzen. Wenn aber das damit charakterisierte Optimum nicht absolut gegeben ist, sondern infolge der bis dahin beschränkten Prozeßkenntnis am Rande der ermittelten Prozeßbeschreibung liegt, wird zur Erweiterung der Prozeßkenntnis besser eine über die günstigste bekannte Stellaktion hinausführende Stellaktion aufgeschaltet werden. Dieses „aktive Lernen" verhilft zu einer raschen Prozeßübersicht und damit zu einem Betrieb, bei dem letztendlich nur noch günstige Stellaktionen in der Regelkreisebene genutzt werden, die Lernebene also (bei zeitinvarianten Prozessen) im Prinzip überflüssig ist. Um Prozeßmodell und Steuerstrategie mit einer beschränkten Anzahl von Lernzyklen erfolgreich betreiben zu können, muß die zunächst beliebig geformte Prozeß- und Steuercharakteristik jeweils aus den gelernten Werten in gewissem Umfang interpoliert werden können, was ihre Ablage in lokal verallgemeinernden

[1)] Erweiterte Fassung eines Vortrags zur Fachtagung Automatisierungstechnik, Technische Universität Dresden, 1988.

Die dem Beitrag zugrunde liegenden Arbeiten wurden zum Teil von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (BRD) gefördert.

Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Henning Tolle (56) studierte bis 1955 Mathematik an der TU Berlin (West). 1956 Promotion. Von 1955 bis 1957 wissenschaftlicher Assistent am Institut für Angewandte Mathematik an der TU Braunschweig, 1958 bis 1961 Referent beim Bundesversicherungsamt in Berlin, 1961 bis 1973 Mitarbeiter bei der ERNO Raumfahrttechnik GmbH in Bremen, zuletzt als Prokurist und Hauptabteilungsleiter zuständig sowohl für Projekte und Programme als auch das Fachgebiet Astrodynamik. Seit 1973 als ordentlicher Professor Direktor am Institut für Regelungstechnik der TH Darmstadt und Leiter des Fachgebietes Regelsystemtheorie.

Dipl.-Ing. Jürgen Militzer (33) studierte bis 1982 Elektrotechnik, Studienrichtung Regelungstechnik, an der TH Darmstadt. Von 1982 bis 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Regelsystemtheorie der TH Darmstadt. Seit 1987 Mitarbeiter bei der ISRA Systemtechnik GmbH.

Dipl.-Ing. Enis Ersü (35) studierte bis 1978 Elektrotechnik, Studienrichtung Regelungstechnik, an der TH Darmstadt. Von 1978 bis 1979 Mitarbeiter der Firma Bodensee Gerätetechnik GmbH in Überlingen, von 1979 bis 1984 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Regelsystemtheorie der TH Darmstadt. 1984 gemeinsam mit Prof. H. Tolle Gründung der ISRA Systemtechnik GmbH, die er als geschäftsführender Gesellschafter leitet.

(interpolierenden) assoziativen (inhaltsadressierten) Speichern zweckmäßig macht. Damit ergibt sich die im Bild 1 gezeigte grundlegende Struktur.

Für die Kennzeichnung der Situation aus aktuellen und gewissen vergangenen Prozeßeingangs- und -ausgangswerten ist ein Kurzzeitgedächtnis notwendig. Ein zunächst leerer Prozeßmodellspeicher wird eine erste Schätzantwort $\hat{y}(k + 1) = 0$ geben: Über die „Modellanpassung" muß ihm für die Situation $y(k)$, $y(k - 1)$. ..., $u(k)$, $u(k - 1)$ . . . der Wert $y(k + 1)$ eintrainiert werden, damit er für gleiche Situationen genau diesen Wert und für ähnliche Situationen einen ähnlichen Wert $\hat{y}(k + 1)$ schätzt. Das Gütekriterium muß — um etwa eine minimale Regelabweichung $y(k + 1) - w$ (w = konst. über eine gewisse Zeit) erzwingen zu können — den Wert $w(k + 1)$ zugeführt erhalten. Für die numerische Optimierung zur Ermittlung eines günstigen $u^*(k)$ ist zudem i. allg. ein Startwert $u^{(0)}(k)$ notwendig, der zweckmäßigerweise aus evtl. früher bereits durchgeführten Optimierungen abgerufen wird. Da Hooke-Jeeves-Verfahren (Richtungstastverfahren) oder Evolutionsstrategien für die Optimierung eingesetzt werden, aber durch den Taktzyklus die Zeitdauer für die Optimierung beschränkt ist, ist u^* nur ungefähr gleich u_{optimal}. Allerdings weiß man, daß zum Beispiel bei den Gradientenverfahren die wesentlichen Gütekriteriumsveränderungen mit den ersten ein bis drei Schritten erzielt werden, und es gilt zudem, daß bei einem schrittweisen, interpolierenden Aufbau eines Prozeßmodells u_{optimal} zu spezifisch wäre.

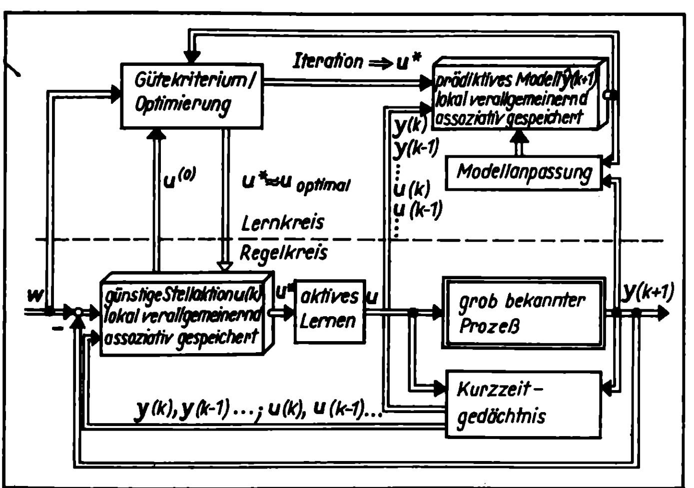
Die Speicherung der günstigen u^* muß natürlich wieder situationsabhängig erfolgen, die u. U. davon verschiedene Ausgabe der Stellaktion an den Prozeß — das aktive Lernen — wurde bereits motiviert.

Eine mathematisch orientierte Charakterisierung des lernenden Regelkreises findet man z. B. in [3]. Er hat die in ihn gesetzten Erwartungen in verschiedenen Simulationen, aber auch in einer Echtzeitversion bei der Regelung einer Pilotdestillationskolonne [4] generell erfüllt. Die Leistungsfähigkeit des Ansatzes soll anhand von Ergebnissen aus [5] illustriert werden.

Bild 2 zeigt die Prinzipskizze einer pH-Wert-Regelung, Bild 3 das zugehörige Blockschaltbild. Die Konzentration c_N des Neutralisationsmittels und das Volumen V des Reaktors werden als bekannt angesehen, die Abtastzeit T_s ist mit $T_s = 2$ s vorab aus einer nur relativ grob notwendigen Kenntnis über die Prozeßdynamik festgelegt. Stellgröße ist die mit $0 \leqq u \leqq 1$ begrenzte Ventilstellung, Meßgrößen sind der pH-Wert y und die als Störgrößen angesehenen Werte der Ionenkonzentration c_i und der Durchflußmenge $\dot{m}_i$ im Einlauf.

Bei den lokal verallgemeinernden Speichern wird zur Charakterisierung der Situation keine Vergangenheit $y(k - 1)$, ..., $u(k - 1)$... mit benutzt, und das Gütekriterium bewertet nur die quadratische Regelabweichung $(\hat{y}(k + 1) - w)^2$, wobei Sollwertsprünge, also w = konst., mit an sich beliebigen Werten w betrachtet werden. Das Blockschaltbild Bild 3 ist nur für die simulatorische Gewinnung von Prozeßdaten von Bedeutung, der lernende Regelkreis weiß davon nichts.

Bild 1. Grundaufbau des lernenden Regelkreises nach E. Ersü



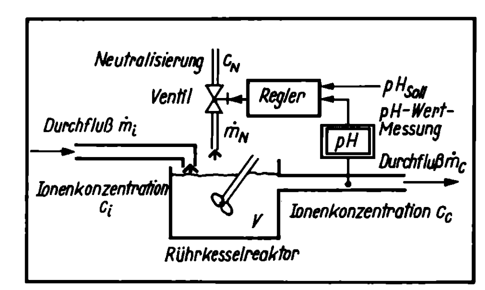


Bild 2. Prinzipskizze der pH-Wert-Regelung
V Flüssigkeitsmenge

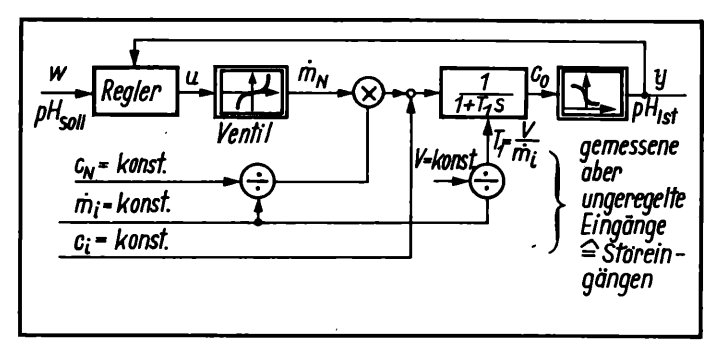


Bild 3. Blockschaltbild der pH-Wert-Regelung zur simulatorischen Generierung der Prozeßmeßwerte

Der Prozeß ist insoweit stark nichtlinear, als die Titrationskurve $pH = -\log[H^+]$ (H^+ Wasserstoffionenkonzentration) logarithmischer Natur ist, was zu sehr steilen Tangenten führt (s. Bild 4a).

Der lernende Regelkreis beginnt mit leeren Speichern sowohl für das prädiktive Prozeßmodell als auch für die Stellstrategie. Die Bilder 4c und 4d zeigen sein Verhalten. Im ersten Versuch (1. Lauf) ohne jegliche Prozeßkenntnis wird der Ist-pH-Wert 3 zunächst kaum verändert (s. Bild 4c), bis in Form eines „Aha"-Effektes eine rasche Angleichung an den Sollwert 9 mit Überschwingen und anschließendem Einschwingen auf diesen Wert erfolgt. Bild 4d zeigt bezüglich der Stellstrategie, daß zunächst vom aktiven Lernen gesteuerte immer stärkere Anregungsversuche des Prozesses stattfinden, bis dann das notwendige Verhalten aus den gesammelten Antwortinformationen gelernt und eine gezielte Verstellung möglich ist. Die mit eingezeichneten Ergebnisse von Wiederholungen derselben Aufgabenstellung, wobei nun die Speicher aus den vorangehenden Läufen (Versuchen) schon Grundinformation haben, zeigen, daß sich die Leistungen des lernenden Regelkreises rasch verbessern. Die aus Bild 4b erkennbare Reduzierung des Gütekriteriumwertes zeigt nach einer raschen Abnahme einen zunächst überraschenden Wiederanstieg, der auf die weitere Vertiefung der Prozeßkenntnisse über das aktive Lernen zurückzuführen ist, das natürlich auch in nicht optimale Prozeßsituationen hineinführen kann. Im pH-Wert-Verlauf von Bild 4c spiegelt sich dies in einem erhöhten Überschwingen beim 10. Lauf wieder, wobei man aus dem mit dargestellten 68. Lauf erkennt, daß über diese vertieften Kenntnisse letztendlich ein schnelleres Einlaufen in den Sollwert praktisch ohne Überschwingen erzielt wird.

Die Bilder 5a und 5b zeigen, daß zum Kennenlernen des Prozesses nicht nur Wiederholungen derselben Situation, sondern auch Verstellungen des Sollwerts dienen können und daß in einem Lauf zugleich das Einschwingen auf mehrere Sollwerte gelernt werden kann (Bild 5b).

Bild 6 macht Aussagen zum Störverhalten. Impulsförmige Störungen können in gewissem Grade auch ohne die Lernebene vom lokal verallgemeinernden Regler allein ausgeregelt werden (Bild 6a). Der im lernenden Regelkreis entstehende nichtlineare Regler ist also nicht hochgradig empfindlich, sondern in gewissem Umfang robust gegenüber Prozeßveränderungen. Im Bild 6b werden dieselben Störungen als sprungartige Veränderungen, also Dauerstörungen betrachtet. Für den Regler stellt sich dies so dar, als hätte er es nun mit einem veränderten Prozeß zu tun. Ohne Anpassungsmöglichkeit (Lernebene) wird er damit nicht fertig, bei Einschaltung der Lernebene gelingt ihm das ohne weiteres.

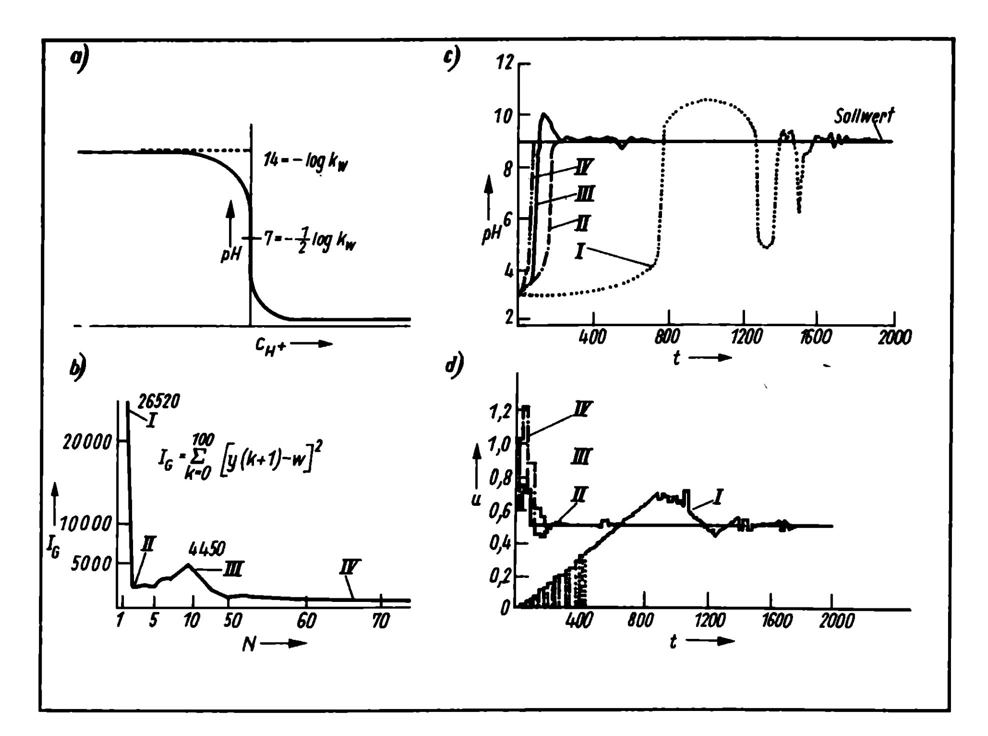




Bild 4.
pH-Wert-Regelung mit Hilfe des lernenden Regelkonzepts
a) Titrationskurve, die Stärke der Nichtlinearität kennzeichnend; b) Entwicklung der Gütekriteriumswerte, *I* 1. Lauf, *II* 2. Lauf, *III* 10. Lauf, *IV* 68. Lauf; c) Einlaufender Ist-Wert in Sollwert bei zunächst leeren Speichern (1. Lauf) und bei Wiederholungen derselben Aufgabenstellung; d) Stellverläufe zu c)

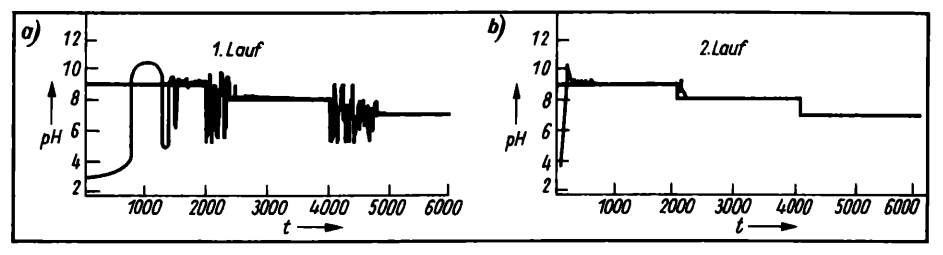


Bild 5.
Lernen mit Sollwertänderungen
a) 1. Lauf (leere Speicher); b) 2. Lauf

Natürlich ist die hier vorausgesetzte, extrem geringe Information über den Prozeß und seine zweckmäßige Regelung i. allg. eine Fiktion. Man kann das Prozeßmodell aus vorhandenen Daten vortrainieren und der Regelstrategie eine Grundstruktur, etwa PI-Verhalten mit situationsabhängigen Parametern aufprägen. Hierzu und zu Abwandlungen der Regelkreisstruktur werden Hinweise in [6] und [7] gegeben. Informationsvorgaben entsprechen der Überlagerung des lernenden Regelkreises über eine bereits vorhandene Regelungsstruktur zur Verbesserung der Regelung mittels einer adäquaten Berücksichtigung der Prozeßnichtlinearität.

Grundsätzlich kann man feststellen, daß der lernende Regelkreis einen Ansatz darstellt, über den für weitgehend beliebige, nicht, wie in der Theorie i. allg. notwendig, auf gewisse Klassen beschränkte nichtlineare Prozesse systematisch ein günstiger, in gewissem Umfang sogar robuster nichtlinearer Regler generiert wird.

2. Bedeutung der lokal verallgemeinernden assoziativen Speicher

Prinzipiell kann der lernende Regelkreis seine Leistungen mit verschiedenen Ausprägungen lokal verallgemeinernder assoziativer Speicher erbringen [8]. Dies ist insofern sympathisch, als die genaue Funktionsweise neuronaler Netzwerke, der neurobiologischen Grundlage, auf der die assoziativen Speicher des lernenden Regelkreises zunächst basierten, bis heute nicht abschließend erforscht ist. Es sollen deshalb unabhängig von den weiter unten erörterten speziellen Ansätzen einige Bemerkungen zu ihren generellen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten gemacht werden.

„Assoziativ" ist hier zunächst nur in neurobiologischem Sinn der Zuordnung eines *n*-dimensionalen Stimulus-(Situations-)Vektors $\boldsymbol{s}$ zu einem *m*-dimensionalen Response-(Reaktions- oder Antworts-)Vektor $\boldsymbol{p}$ zu verstehen, d. h., es handelt sich um eine beliebige mathematische, i. allg. nichtlineare Zuordnung $\boldsymbol{s} \in \boldsymbol{R}^n \to \boldsymbol{p} \in \boldsymbol{R}^m$. Die bei den benutzten Ausprägungen erzielte Speicherplatzauswahl direkt aus den Werten des Eingangsvektors ist vorteilhaft, aber nicht zwingend erforderlich.

„Lokal verallgemeinernd" ordnet jedem Eingangsvektor über den gewünschten Ausgangswert (Element p_i des Vektors $\boldsymbol{p}$) hinaus einen ganzen Ausgangswertebereich zu und führt damit auf eine automatische Interpolation der Ausgangswerte über dem mehrdimensionalen Eingangsraum. Dies reduziert den Speicheraufwand und, was noch wichtiger ist, den Lern-(Trainings-)Aufwand.

Die lokal verallgemeinernden assoziativen Speicher sind nicht nur im Zusammenhang mit lernenden Regelkreisen von Interesse. Man kann sie auch nutzen für eine:

- *Kennfeldspeicherung* (Speicherung eines stationären nichtlinearen mehrdimensionalen Zusammenhangs)
  Benutzt man etwa die Eingangswerte eines Prüfstandsversuchs als Situationskennzeichnung und die Ausgangswerte als Trainingswerte (Bild 7b), so kann man nach einer ausreichenden Lern-

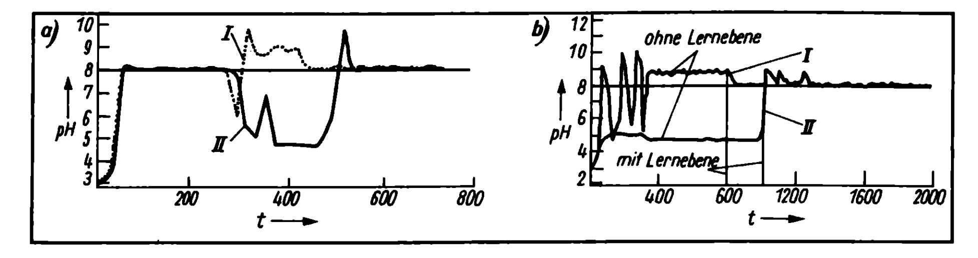


Bild 6.
Reaktion bei Störungen
a) Ausregelung von impulsförmigen Störungen bei trainierter Steuerstrategie und ausgeschalteter Lernebene; b) Verhalten bei andauernden Störungen, zunächst mit ausgeschalteter, dann mit eingeschalteter Lernebene
I $\Delta c_i = 1‰$; *II* $\Delta \dot{m}_i = 1\%$

phase den bis dahin zum Prüfstand parallel laufenden Speicher an den Rechner als nichtlinearen Prüfstandssimulator anschließen und ihn z. B. nutzen, um Regelkonzepte usw. zu erproben.

- *Inverse Kennfeldspeicherung*
  Unter der Voraussetzung eines eindeutig umkehrbaren Zusammenhanges zwischen Eingängen und Ausgängen kann man den nichtlinearen Prozeß bzw. Prüfling mit seinen Ein- und Ausgängen auch so auf den parallel laufenden Speicher aufschalten, daß die Ausgänge die Situationskennzeichnung darstellen und die zugehörigen Eingangswerte die zu trainierende Reaktion (Bild 7a). Der Speicher lernt damit das inverse Verhalten des Prozesses und erzwingt, ihm in Serie vorgeschaltet, eine angenäherte Linearisierung und Inversion.
- *Automatische Übernahme von Bedienstrategien*
  Wird ein Prozeß von Hand gefahren und führt man dem Speicher zur Situationskennzeichnung das Prozeßausgangsverhalten und die evtl. notwendige Historie über Prozeßeingänge und -ausgänge nebst dem jeweiligen Prozeßverhalten zu, so kann er auf das Stellverhalten des Bedieners trainiert werden und nach einer gewissen Lernzeit dessen Aufgaben übernehmen (Bild 8). Entsprechende Versuche am Fachgebiet Regelsystemtheorie der TH Darmstadt mit simulierten, stark nichtlinearen Prozessen verliefen sehr erfolgreich. Dies ist insofern von großer praktischer Bedeutung, als bei der Verwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz, aber auch bei Fuzzy-Logic-Ansätzen das Erfragen der Stellstrategie beim Bediener ein großes Problem darstellt. Bedienstrategien sind weitgehend unbewußt und damit vom Bediener nur schwer erläuterbar. Sie stellen z. T. ein Element seiner „sensomotorischen Intelligenz“ dar.

3. AMS — ein neurobiologisch motivierter Speicher

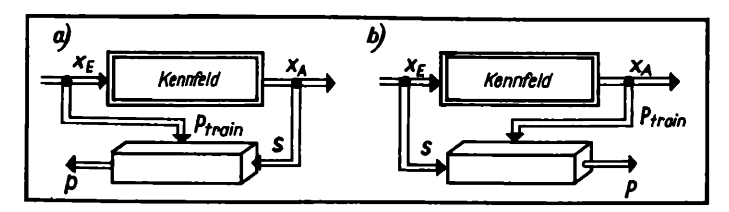
AMS ist eine auf dem Perzeptron-Prinzip [9] aufbauende, sowohl bei realen Prozessen als auch bei simulatorischen Untersuchungen einsetzbare Softwareimplementierung eines lokal verallgemeinernden Speichers. Für den neurobiologischen Hintergrund kann man sich an einer von J. ALBUS [10] vorgeschlagenen, an ein Modell von D. MARR [11] angelehnten Interpretation des Cerebellum (Kleinhirn) orientieren (Allerdings existieren auch andere Deutungen der Aufgaben und Arbeitsweisen des Kleinhirns, vgl. z. B. [12]). Bild 9a zeigt die Zellstruktur der Kleinhirnrinde nach [13] und Bild 9b ein von J. ALBUS daraus kondensiertes Struktogramm [14].

Die von der Sensorik und von höheren Ebenen des Gehirns kommenden Moosfasern kontaktieren Körner- und Golgi-Zellen. Die Axone der Körner-Zellen bilden die äußerst reguläre Struktur der Parallelfasern, aus denen über die Golgi-Zellen durch Aktivitätshemmung etwa 3 % als aktiv ausgewählt werden. Ihre Signale werden von den Dendriten der Purkinje-Zellen und den untereinander sehr ähnlichen, auf die Purkinje-Zellen hemmend einwirkenden Korb- und Stern-Zellen abgelesen und aufaddiert, wobei die Gewichtung durch die ebenfalls von der Motorik kommenden Kletterfasern so beeinflußt wird, daß die Axone der Purkinje-Zellen gerade die gewünschten Soll-Stellsignale weiterleiten.

Das daraus herleitbare, ebenfalls auf J. ALBUS zurückgehende Strukturbild für die Informationsverarbeitung ist im Bild 10 gegeben. Die die Situation beschreibenden Stimulus-Signale, z. B. Prozeßein- und -ausgänge inklusive Historie, werden über eine noch zu erläuternde Kodierung genutzt, um eine feste Zahl ϱ von den für jeden Ausgangswert p_i insgesamt vorhandenen r Speicherplätzen anzusprechen ($\varrho \ll r$). In den Speicherplätzen sind veränderbare Werte (synaptische Gewichte) enthalten, die einfach aufaddiert werden. Über einen Vergleich des so erzielten Ausgangswertes mit dem Sollausgangswert und eine Verteilung der Differenz auf die ϱ aktiven Speicherplätze, z. B. durch Aufaddition von $1/\varrho$ mal dieser Differenz auf jeden Speicherplatz, erhält man in den Speichern Gewichte, die bei nochmaligem Ansprechen derselben Situation genau den gewünschten Sollausgangswert ergeben. Wichtig ist die mehrere Speicherplätze ansprechende inhaltsadressierte Kodierung. Die Art der Verarbeitung der in den aktiven Speicherplätzen hinterlegten Information kann durchaus anders gestaltet werden als im Bild 10 angedeutet und soeben beschrieben, und es wurde tatsächlich eine Reihe von verschiedenen entsprechenden Algorithmen erfolgreich getestet.

Bild 11 erläutert die Kodierung und zeigt ein mögliches Resultat der damit erzielbaren lokalen Verallgemeinerung, deren Algorithmus noch angegeben wird. Ein anderer Ansatz findet sich in [3]. Der beim Perzeptron aus den rezeptiven Feldern der optischen Wahrnehmung entwickelte Grundgedanke der Kodierung, von J. ALBUS aus physiologischen Erkenntnissen über das gleichzeitige Ansprechen von gan-

Bild 7. Erlernen von Kennfeldern
a) inverse Speicherung; b) direkte Speicherung



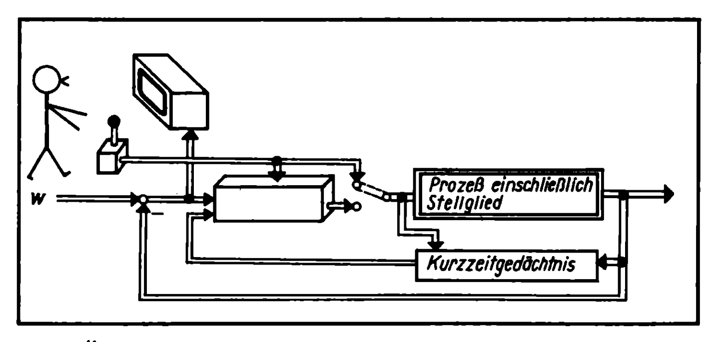


Bild 8. Übernahme von Bedienstrategien durch Parallelschaltung eines lokal verallgemeinernden Speichers

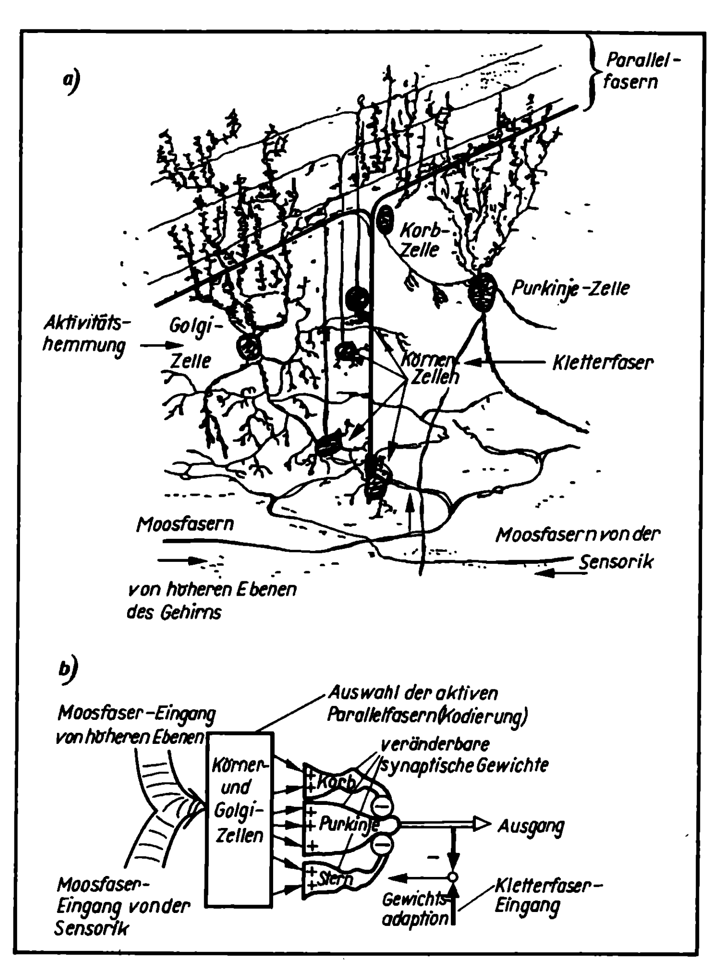


Bild 9. Neurobiologischer Hintergrund des AMS
a) Zellstruktur im Kleinhirn nach [10]; b) Struktogramm zu a) nach [11]

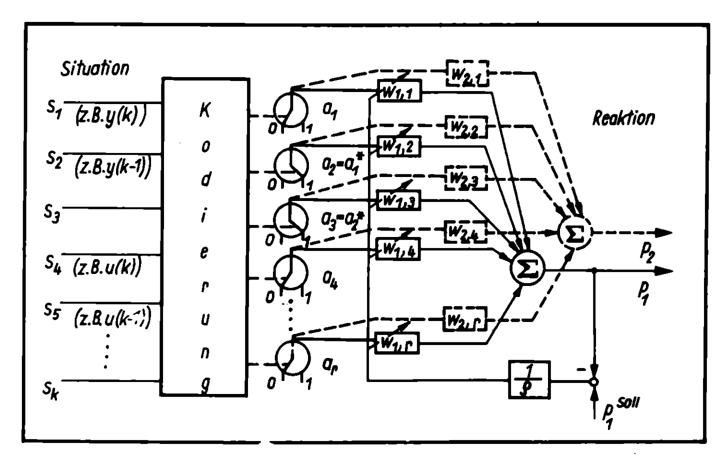


Bild 10. Informationsverarbeitungsstruktur basierend auf Bild 9b
a_r Speicherplätze, $\varrho \ll r$ aktiv; $w_{i,j}$ veränderbare Gewichte

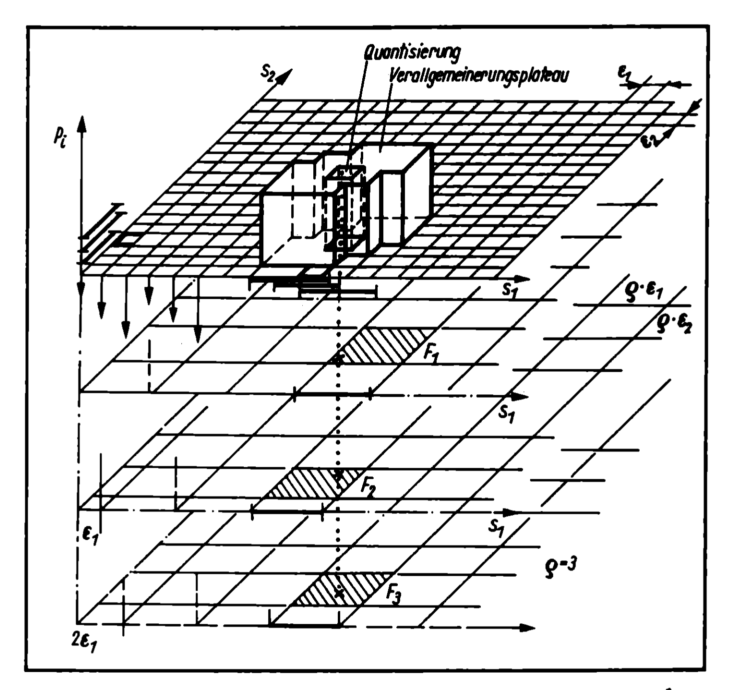


Bild 11. Erläuterung der Kodierung aus Bild 10 für zwei Eingänge und einen Ausgang

zen Muskelbündeln auf ein Sollsignal und Differenzierung der Bewegung über das Ansprechen mehrerer Muskelbündel hergeleitet, besteht in der Ersetzung der aufgrund der diskreten Datenverarbeitung sowieso gegebenen Quantisierungen durch eine Überlagerung von mehreren gröberen Quantisierungen, die gegeneinander verschoben auftreten. Der Sollwert, gemäß Bild 11 in einem Feinquader der Grundquantisierungen ε_1, ε_2 enthalten, wird auf ϱ jeweils um ε_1 in s_1-Richtung und um ε_2 in s_2-Richtung verschobene Gitter der Maschenweiten $\varrho \cdot \varepsilon_1$, $\varrho \cdot \varepsilon_2$ abgebildet. Eine Verschiebung aus einem Element des Ursprungsgitters hat dann eine Verschiebung aus einem oder mehreren Elementen der Grobgitter zur Folge, je nachdem, ob die Verschiebung klein oder groß ist. Eine Verschiebung um mehr als $\varrho \cdot \varepsilon_1$, $\varrho \cdot \varepsilon_2$ führt dazu, daß keines der ursprünglichen Gitterelemente mehr angesprochen wird. Definiert man als lokales Verallgemeinerungsgebiet die Überlagerung der Grobgitter, so hat man eine aus den Datenwerten des Eingangsstimulus unmittelbar entstehende Umgebung, in der der Stimulus gerade noch eine Auswirkung hat, außerhalb jedoch nicht mehr.

Im allgemeinen handelt es sich um n-dimensionale Eingangsvektoren s (n-dimensionale Gitter) und m Ausgänge, wobei eine Aufspaltung in m Hyperflächen, also eine Hyperfläche je Ausgangselement, über dem n-dimensionalen Grundgitter möglich ist. Zur Vereinfachung soll im folgenden p statt der korrekten Ausgangselementbezeichnung p_i benutzt werden, die Indizes werden so übersichtlicher. Zu unterscheiden sind ferner die Trainingswerte $\tilde{s} \rightarrow \tilde{p}$ und die interpolierten Schätzwerte $\hat{p}$ für nicht trainierte Stimuli s. Da in der Realität alle Eingänge eingrenzbar sind, kann man den Gitterbereich im Grundraster über die Begrenzungen und die Zahl der Elemente je Dimension R_i bezüglich der Auflösung beschreiben durch:

$$\varepsilon_i = (s_{i\max} - s_{i\min})/R_i \,. \tag{1}$$

Den einzelnen Hyperquader der Kantenlänge $\varrho \cdot \varepsilon_i$ der ϱ Grobgitter werden Speicherwerte w_j und Kennungen α_j mit folgender Bedeutung zugeordnet:

$$\alpha_j = \begin{cases} 1, & \text{wenn } w_j \text{ durch vorangegangenes Training} \\ & \text{einen an Sollwerten orientierten Wert hat} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \tag{2}$$

Mit $A(\tilde{s})$ als Indexmenge der ϱ Hyperquader, in denen die Trainingsstelle $\tilde{s}$ liegt, werden die Speicherinhalte nach der Vorschrift

$$c = \tilde{p} - \frac{1}{\varrho} \cdot \sum_{\mu \in A(\tilde{s})} [\alpha_\mu w_\mu^{\text{alt}} + (1 - \alpha_\mu)\, \tilde{p}] \tag{3a}$$

$$w_j^{\text{neu}} = \begin{cases} w_j^{\text{alt}} + c & \text{für } j \in A(\tilde{s}) \text{ und } \alpha_j = 1 \\ \tilde{p} + c & \text{für } j \in A(\tilde{s}) \text{ und } \alpha_j = 0 \\ w_j^{\text{alt}} & \text{sonst.} \end{cases} \tag{3b}$$

verändert. Die Ausgangsschätzung $\hat{p}$ an einer Stelle s wird gebildet durch:

$$\hat{p} = \Big(\sum_{j \in A(s)} \alpha_j w_j\Big) \Big/ \Big(\sum_{j \in A(s)} \alpha_j\Big), \tag{4}$$

womit sich bei einem trainierten Punkt über der Projektion der $\varrho \cdot \varepsilon_1$-Gitter in das Originalgitter ein Hyperplateau der Höhe $\tilde{p}$ ergibt, für mehrere Punkte eine Interpolation durch Plateaustufen.

Antworten für nichttrainierte Stimuli werden allerdings nur als gültig (trainiert) angesehen, wenn ein gewisser Prozentsatz $\eta_{\min}$ der insgesamt durch den Stimulus ausgewählten Speicherzellen durch $\alpha_j = 1$ als trainiert gekennzeichnet sind.

Die verteilte Speicherung hat neben der automatischen Interpolation noch den Vorteil einer Speicherplatzreduktion. Für ein Originalraster mit $\varepsilon_i = \varepsilon$, $R_i = R$ müßten für n Eingänge gerade $z_0 = R^n$ Speicherplätze zur Ablage des Ausgangswertes p zur Verfügung gestellt werden, hier genügen $z_v = \varrho \cdot \left(\frac{R}{\varrho} + 1\right)^n$ Speicherplätze. Für $n = 6$, $\varrho = 16$, $R = 100$ bedeutet dies ein Verhältnis $z_v/z_0 = 2 \cdot 10^{-8}$. Der zu realisierende Speicher läßt sich aber noch kleiner dimensionieren, da $s_{i\max}$, $s_{i\min}$ sichere Abschätzungen sind und deshalb in Wirklichkeit nur ein Teil des so eingegrenzten Bereichs durch Prozeßwerte angesprochen wird. Die entsprechend Bild 11 ermittelten Speicherplätze werden deshalb mittels Pseudozufallszahlen (Hashcoding) auf einen kleineren Speicher abgebildet, dessen Auslastung nun allerdings zu überwachen ist. Einzelheiten dieser Kodierung sind in [15] angegeben. Die zufällige Platzauswahl durch das Hashcoding macht im übrigen die Speicherantworten relativ unempfindlich gegen den Ausfall von Speicherregionen, da so i. allg. nur ein Teil der zu einem Stimulus gehörigen Gitterelemente davon betroffen ist, d. h., trotzdem noch eine (eventuell ungenauere) Antwort erzeugt wird.

Es sei dazu angemerkt, daß man von Gehirnverletzungen weiß, daß das menschliche Gehirn entsprechend reagiert.

Erweitert man die Kennung α_j zu einem Zähler, der angibt, wie oft der Speicherplatz durch ein zu einer Sollantwort gehörendes Gewicht belegt ist (z. B. l mal $\Rightarrow \alpha_j = l$), so kann man bei der Speicherantwort ein mittelwertfreies Rauschen $n(t)$ ausfiltern. Verwendet man z. B. die im Bild 10 skizzierte einfachste Art der Ausgangsbildung $p = \sum_1^{\varrho} w_j$, so folgt mit der Gewichtsveränderungsstrategie

$$w_j^{(l+1)} = w_j^{(l)} + \frac{1}{l+1} \left[(\tilde{p} + n^{(l+1)}) \cdot \frac{1}{\varrho} - w_j^{(l)} \right], \tag{5}$$

$$w_j^{(l+1)} = \frac{1}{\varrho} \left[\tilde{p} + \frac{1}{l} \sum_{\sigma=1}^{l} n^{(\sigma)} \right]$$

also eine Ausmittung des statistischen mittelwertfreien Rauschens. Da bei dichtem Training bzw. großem ϱ auch ohne mehrfaches Ansprechen ein- und desselben Trainingsstimulus die einzelnen zu den Grobgittern gehörigen Speicherzellen mehrfach angesprochen werden, ergibt sich auch für die interpolierten $\hat{p}$ so eine überraschend gute Rauschunterdrückung [16].

Bei Lernvorgängen ist im übrigen im Bereich weniger Daten, etwa bei Übergangsvorgängen zwischen verschiedenen Sollzuständen im Regelkreis, eine relativ große Verallgemeinerung wünschenswert, um überhaupt interpolatorische Schätzungen zu erhalten. Im Zuge fortschreitender Datenverdichtung, z. B. beim Fahren eines Sollzustandes, ist hingegen eine geringe Verallgemeinerung erwünscht, um auftretende Nichtlinearitäten möglichst exakt nachbilden zu können. Mit dem hier erörterten Speicherkonzept läßt sich dies zum Teil erreichen, indem man ständig mehrere Speicher mit verschiedenen ϱ-Werten, aber gleichen ε_i parallel trainiert und die Antwort aus dem Speicher abruft, in dem bei kleinstem ϱ noch η_{min} überschritten wird (Bild 12) bzw., worauf hier nicht näher eingegangen wird, was aber Speichergrößenvorteile hat, indem man bei gleichem ϱ in den parallel geschalteten Speichern die Gitterweite ε_i verschieden gestaltet.

4. MIAS — eine mathematische Alternative zum AMS

Der für das AMS skizzierte Weg in Richtung variable Verallgemeinerung beinhaltet, daß mit dem hohen Aufwand einer Speicherplatzvervielfachung gerade nur eine Stufung bezüglich des Verallgemeinerungsgrades erreicht werden kann. Günstiger wäre eine sich automatisch an der lokalen Punktdichte ausrichtende gleitend veränderliche Verallgemeinerung. Dies leistet der McLain-Typ interpolierende assoziative Speicher MIAS, der 1986 von J. Militzer, ausgehend von den Überlegungen in [17] und [18], entwickelt wurde.

Hintergrund der benutzten Basisarbeiten ist, daß auch in der rechnergestützten grafischen Darstellung die Aufgabe auftritt, aus unregelmäßig verteilten Daten interpolierende Flächen zu erzeugen, allerdings hier beschränkt auf dreidimensionale Räume (Bild 13a). In MIAS werden n-dimensional für einen gefragten Stimulus s alle

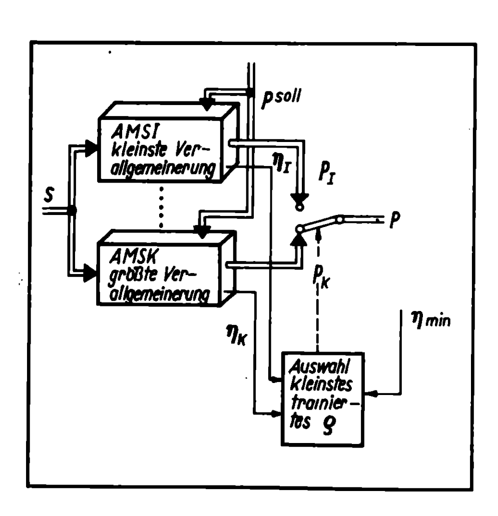
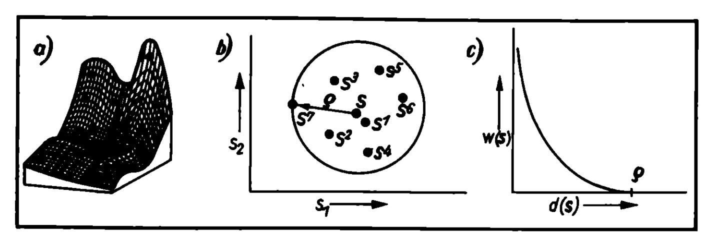


Bild 12. Variable Verallgemeinerung mittels Parallelschaltung mehrerer Speicher mit verschiedenen ϱ, gleichen ε_i und geeigneter Antwortauswahl

Bild 13. MIAS-Grundlagen
a) Grafische Darstellung einer Kennfläche und Andeutung von Stützstellen, aus denen diese evtl. zu interpolieren ist; b) Beispiel Einflußkreis der Interpolation bei MIAS: $s = (s_1, s_2)$, $q = 6$; c) Abhängigkeit Gewichtung — Distanz Aufpunkt/Trainingspunkt



Abstände von den trainierten Stimuli $\tilde{s}_i$ gebildet und der Größe nach numeriert, so daß gilt:

$$d_1(s) = |s - \tilde{s}_1| \leqq d_2(s) \leqq d_3(s) \dots . \quad (6)$$

Als Einflußgebiet für die Verallgemeinerung wird die n-dimensionale Hyperkugel durch $\tilde{s}_{q+1}$ mit dem Radius $\varrho(s) = d_{q+1}(s)$ benutzt ($q \geqq n + 1$ freier Parameter), womit die gewünschte Anpassung an die jeweilige Punktdichte erreicht ist (Bild 13b, $n = 2$). Zur Schätzung der Komponenten $\hat{p}_i$ des Ausgangsvektors wird jeweils eine lineare Ausgleichsfläche der Stimulusdimension n angesetzt, was sich, wenn man wieder den Index i unterdrückt, schreiben läßt als

$$g(x) = a_0 + \sum_{k=1}^{n} a_k x_k . \quad (7)$$

Der Koeffizientenvektor a wird über

$$J = \sum_{l=1}^{q} w_l [g(\tilde{s}_l - s) - \tilde{p}_l]^2 \Rightarrow \underset{a}{\text{Min}} . \quad (8)$$

ermittelt, wobei die näher bei s liegenden Stützstellen durch die Gewichtungen (Bild 13c)

$$w_l = [1/d_l(s) - 1/\varrho(s)]^2 \quad (9)$$

stärker berücksichtigt werden.

Die Speicherantwort erhält man zu $\hat{p} = g(0) = a_0$. Für Stützstellen $\tilde{s}_l$ nahe s gilt, daß der Abstand $d_l(s) \ll (\varrho - d_l(s))/\varrho$ ist, also $w_l \to \infty$ geht ($\Rightarrow \hat{p}(s) \approx \tilde{p}(s_l)$ gemäß (8)), während für $\tilde{s}_l$ nahe dem Kugelrand gilt: $d_l(s) \approx \varrho(s) \Rightarrow w_l \approx 0$. Als Indikator $\tilde{\eta}_{min}$ für ein ausreichendes Training, entsprechend η_{min} beim AMS, kann eine Funktion dienen, die eine Umgebung um s festlegt, in der sich q trainierte Punkte befinden müssen, damit die Interpolation als sinnvoll angesehen wird. Bewährt hat sich $\tilde{\eta}_{min} \geqq 200/[200 + \varrho(s)]$.

5. Leistungsvergleich MIAS—AMS

Für den Vergleich der relativen Vor- und Nachteile von MIAS und AMS wurde in Ergänzung zu ersten Untersuchungen, die sich auf die Möglichkeit der Nutzung von MIAS im lernenden Regelkreis bezogen (s. [8]) im Hinblick auf die im Abschnitt 2 erörterten generellen Anwendungsmöglichkeiten von lokal verallgemeinernden assoziativen Speichern die Qualität der Abspeicherung von Testfunktionen betrachtet. Aus den umfangreichen Testreihen sollen hier nur Ergebnisse für drei Testflächen aus einem größeren Problemkatalog besprochen werden. Die Flächen sind über dem Stimulusgebiet s_1, s_2 mit $s_i = 0, 1, 2, \dots, 4096$ mit der Abkürzung $x_i = s_i/4096$ wie folgt definiert:

$$FSIN\colon \; p(s_1, s_2) = \sin^2 (2\pi x_1) \cdot \sin^2 (2\pi x_2) \quad (10)$$

$$FCOS\colon \; p(s_1, s_2) = \frac{\cos \{2\pi[(2x_1 - 1)^2 + (2x_2 - 1)^2]\}}{e^{1/4} \cdot [(2x_1 - 1)^2 + (2x_2 - 1)^2]} \quad (11)$$

$$ECKE\colon \; p(s_1, s_2) = \begin{cases} 0{,}75 x_1 & \text{für } x_1 < 0{,}6;\, x_2 < 0{,}5 \\ 1 & \text{sonst}, \end{cases} \quad (12)$$

wobei *FCOS* gegenüber *FSIN* stärkere Krümmungen aufweist und die Ecke echte Knicke zu modellieren verlangt.

Ermittelt wurden nach einem Training mit σ zufällig ausgewählten, im Stimulusraum gleich verteilten Stützstellen grafische Darstellungen der Speicherantworten sowie folgende Kennwerte für ξ in einem regelmäßigen Raster angeordnete Prüfpunkte ($p(s_i)$ wahre Werte, $\hat{p}(s_i)$ interpolierte Werte):

- Anzahl der laut Trainingsindikator auswertbaren Prüfpunkte ($\eta \geqq \eta_{min}$ bzw. $\tilde{\eta}_{min}$)

$$K(\eta_{min}) = \sum_{i=1}^{\xi} a_i \quad \text{mit} \quad a_i = \begin{cases} 0 & \text{für } \eta_i < \eta_{min} \text{ bzw. } \tilde{\eta}_{min} \\ 1 & \text{für } \eta_i \geqq \eta_{min} \text{ bzw. } \tilde{\eta}_{min} \end{cases} \quad (13)$$

- Betragsmittelwertfehler

$$E_{bm}(\eta_{min}) = \frac{1}{K} \sum_{\substack{i=1 \\ \eta_i \geqq \eta_{min} \text{ bzw. } \tilde{\eta}_{min}}}^{\xi} |\hat{p}(s_i) - p(s_i)| \cdot \left[\frac{1}{\xi} \sum_{i=1}^{\xi} |p(s_i)|\right]^{-1} \quad (14)$$

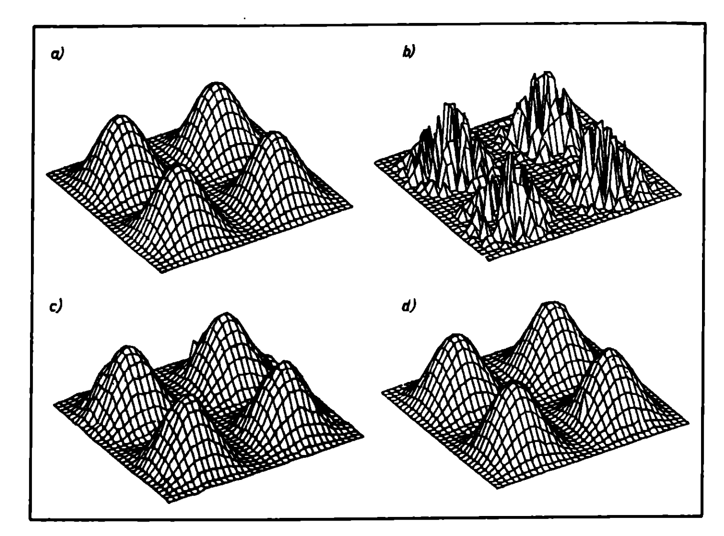


Bild 14. Auswirkung von Trainingspunktanzahl und Verallgemeinerungsgrad — AMS, Beispiel *FSIN*
a) FSIN exakt; b) $\sigma = 1000$, $\varrho\varepsilon = 128$; c) $\sigma = 1000$; $\varrho\varepsilon = 256$; d) $\sigma = 10000$, $\varrho\varepsilon = 128$

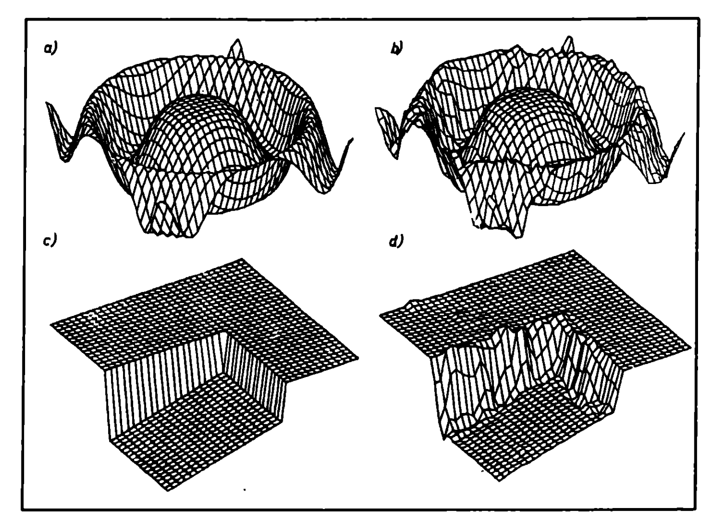


Bild 15. Qualität der Flächeninterpolation mit AMS für *FCOS* und *ECKE* bei $\sigma = 1000$, $\varrho\varepsilon = 256$
a) *FCOS* exakt; b) *FCOS* interpoliert; c) *ECKE* exakt, d) *ECKE* interpoliert

- Maximalfehler

$$E_{max}(\eta_{min}) = \max_{i=1,2,\ldots,\xi} |\hat{p}(s_i) - p(s_i)| \cdot \left\{ \max_{i=1,2,\ldots,\xi} |p(s_i)| \right\}^{-1} . \quad (15)$$
$$\eta_i \geqq \eta_{min} \text{ bzw. } \tilde{\eta}_{min}$$

Für AMS ist zunächst zu fragen, was ein sinnvoller Verallgemeinerungsgrad ist. Bild 14 zeigt für FSIN, daß eine zu klein gewählte Verallgemeinerung zu unnötig hohem Trainingsaufwand führt. Für 10000 trainierte Punkte gibt $\varrho = 8$, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 16$, also $\varrho \cdot \varepsilon = 128$, *FSIN* über den betrachteten Bereich $0 \leqq s_1 \leqq 4096$, $0 \leqq s_2 \leqq 4096$ relativ gut wieder, für nur 1000 Punkte ist dies nicht mehr der Fall, während für $\varrho = 16$, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 16$, also $\varrho \cdot \varepsilon = 256$, 1000 trainierte Punkte bereits genügen. Gemäß Bild 15 gilt dies auch für die stärker gekrümmten Testflächen *FCOS* und *ECKE*. Zu beachten ist, daß 1000 Trainingspunkte nur $5 \cdot 10^{-3}\%$ der gesamten $4097 \cdot 4097$ Grundrasterpunkte darstellen.

Will man vergleichend die Modellierung der Testflächen mit Hilfe von MIAS betrachten, muß man zunächst den freien Parameter q festlegen. Dies kann über die Fehlermaße (14) und (15) geschehen. Gemäß Bild 16a ist ein Wert $q = 6 \ldots 10 \gg n = 2$ zweckmäßig. Im übrigen kommt MIAS i. allg. mit weniger Training als AMS aus, wie die Bilder 16c und d zeigen, in denen die Ecke nach einem Training mit nur 300 Punkten für MIAS und AMS dargestellt ist.

Tafel 1 zeigt ergänzend für 300 trainierte Punkte, daß bei stark gekrümmten, nicht ebenen Flächen eine Begrenzung des Interpolationsbereichs durch Vorgabe eines $\tilde{\eta}_{min}$ bei MIAS notwendig ist. Bei der starke Krümmungen aufweisenden Testfläche *FCOS* treten sonst unnötig große Fehler auf.

Tafel 2 gibt einen Einblick in die Auswirkungen der variablen Verallgemeinerung. Während sich in [8] gezeigt hatte, daß die variable Verallgemeinerung beim lernenden Regelkreis erhebliche Verbesserungen erbrachte, zeigt sich hier am Beispiel *FSIN*, daß dies beim Training von 1000 Punkten praktisch nicht der Fall ist. Dazu muß man beachten, daß beim Kennfeldtraining i. allg. keine Bevorzugung bestimmter Stimulusbereiche vorliegt bzw. für die Testflächen eine gleichmäßige Genauigkeit bezüglich des gesamten Grundrasters betrachtet wurde, während beim Regelkreis die bereits früher erwähnte höhere Genauigkeitsforderung bei der Sollwerteinhaltung gegenüber dem Übergangsverhalten auftritt. Der zunächst überraschend bessere Wert von AMS 128/256/512 bei E_{max} gegenüber MIAS wird durch Bild 17 erklärt: Während AMS im wesentlichen interpoliert, können bei MIAS bei ungünstiger Lage der Trainingspunkte auch erhebliche Extrapolationen auftreten. Die im Grundsatz aber wesentlich bessere Anpassungsfähigkeit an die Kennfeldausprägung, die bei MIAS durch die gleitende Variation des Verallgemeinerungsbereichs gegenüber der Stufung bei AMS gegeben ist, spiegelt sich in dem sehr viel besseren E_{bm}-Wert sowohl für 300 als auch für 1000 trainierte Punkte wider. Die Unterschiede in der Zahl der untrainierten, also mit $\eta < \eta_{min}$ charakterisierten Prüfpunkte sind im übrigen für alle drei Ansätze nicht signifikant.

Grundsätzlich kann man feststellen, daß MIAS aufgrund seiner über die gleitende variable Verallgemeinerung gegebenen besseren Stützstellennutzung i. allg. weniger Stützstellen bei gleichen Qualitätsanforderungen an die Kennfeld-/Prozeßdarstellung benötigt. In welcher Form muß man dafür bezahlen? Im wesentlichen sind es drei Punkte:

Zunächst ist mit MIAS die unmittelbare Rauschfilterung, wie sie durch die gemeinsame Nutzung von Speicherzellen beim AMS über die Einführung von Zählern bezüglich der Ansprechhäufigkeit erläutert wurde, nicht möglich. Sodann sind Programmgröße und Rechenzeit je Stimulus-Antwort-Verknüpfung für MIAS höher als für AMS.

Der MIAS-Algorithmus erfordert etwa die 1,5fache Programmgröße verglichen mit AMS.

Tafel 1. Notwendigkeit der Begrenzung des Interpolationsbereichs durch $\tilde{\eta}_{min}$ bei stark gekrümmten Flächen, z. B. *FCOS*
$q = 8$; $\sigma = 300$; $(\xi - K)/\xi$ Anzahl der gemäß $\tilde{\eta}_{min}$ noch nicht ausreichend trainierten Punkte (vgl. (13))

	$\tilde{\eta}_{min}$	E_{bm}	E_{max}	$(\xi - K)/\xi$
FSIN	0%	9,9%	30,7%	0%
	30%	6,5%	18,0%	66%
FCOS	0%	19,5%	210,1%	0%
	30%	10,1%	63,5%	66%
ECKE	0%	3,0%	80,7%	0%
	30%	3,0%	70,5%	66%

Tafel 2. Vergleich der Leistungsfähigkeit von AMS fest, AMS variabel gemäß Bild 12 und MIAS am Beispiel *FSIN*

FSIN	trainierte Punkte	E_{bm}	E_{max}	$(\xi - K)/\xi$
AMS	300	14,4%	29,4%	12,5%
$\varrho \cdot \varepsilon = 256$	1000	5,7%	11,3%	2,4%
AMS	300	11,6%	14,7%	13,1%
128/256/512	1000	5,7%	9,3%	2,9%
MIAS	300	9,4%	22,5%	11,7%
$q = 10$	1000	2,9%	11,3%	2,8%

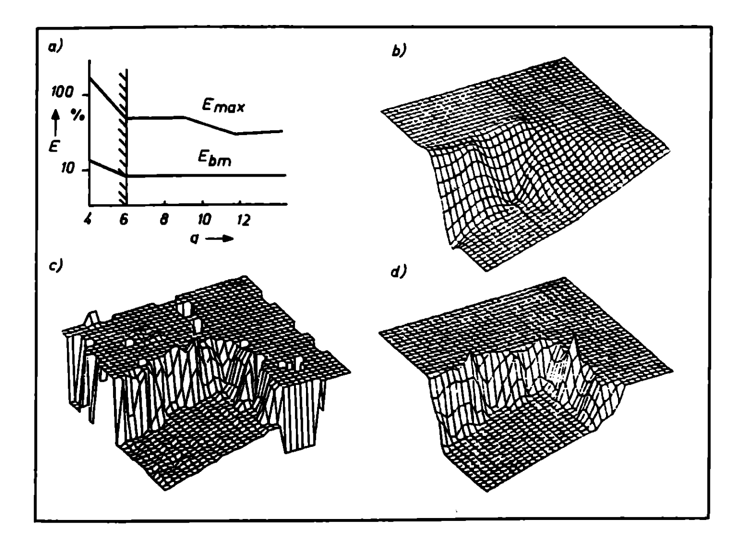


Bild 16. MIAS
a) Fehlermaßverlauf für *FSIN* über q; b) *ECKE* mit $q = 10$, $\sigma = 30$; c) mit $q = 10$, $\sigma = 300$; d) AMS-*ECKE* mit $\varrho\varepsilon = 256$, $\sigma = 300$

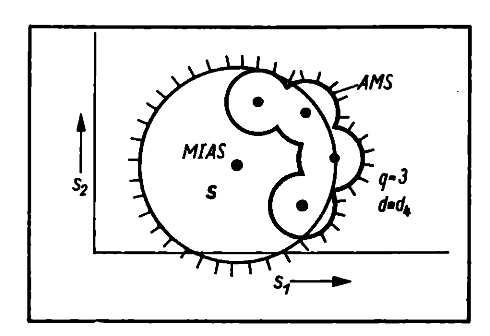


Bild 17. Extrapolierendes Verhalten von MIAS im Gegensatz zu AMS
$s = (s_1, s_2)$, $q = 3$

Die Zeit für eine Stimulus-Antwort-Verknüpfung ist bei AMS abhängig von der Dimension n des Stimulusvektors s und vom Grad der Verallgemeinerung, aber unabhängig von der Anzahl der trainierten Werte. Sie beträgt, bezogen auf die Leistungsfähigkeit der PDP 11/34 mit Gleitkommabeschleuniger in Macro-Assemblerprogrammierung für $n \leqq 4$, $\varrho = 16$ etwa 5 bis 8 ms. Bei MIAS hat man es mit einem von der Stimulusdimension und der Zahl q der zu berücksichtigenden trainierten Werte abhängigen Sockelbetrag und einer zunächst linearen Abhängigkeit von der Zahl der trainierten Werte zu tun. Unter den für AMS genannten Voraussetzungen beträgt der Sockelbetrag für $n = 2$, $q = 8 \ldots 10$ etwa 5 bis 8 ms mit 0,04 ms je trainierter Stützstelle als hinzutretendem Zuschlag. Allerdings kann die Abhängigkeit von der Anzahl der Stützstellen über eine hierarchische Fokussierung noch von dem hier genannten linearen Zusammenhang auf einen logarithmischen Zusammenhang heruntergedrückt werden.

Zusammenfassung

Es wurde eine Regelkreisstruktur vorgestellt, die ähnlich dem Menschen auf der Basis grober Prozeßkenntnisse (zweckmäßige Abtastzeit, geeignete Meß- und Stelleingriffe) in der Lage ist, zielgerichtet für verschiedenartigste Prozesse günstige Handhabungsstrategien zu entwickeln. Ein Grundelement dieser Struktur ist der lokal verallgemeinernde Speicher. Nach einer Erläuterung seiner Einsatzmöglichkeiten über den lernenden Regelkreis hinaus, wurden zwei Versionen näher beschrieben und bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit verglichen. Welche die günstigere Version ist, dürfte vom Einsatzfall abhängen.
Weiterführend ist die Frage eines Chipentwurfs für solche lokal verallgemeinernden assoziativen Speicher näher zu betrachten, wobei die Eigenschaft der Lokalität bei der Verallgemeinerung auf Möglichkeiten zu weitgehend paralleler Informationsverarbeitung in einem solchen Chip hinweist. Zum anderen ist die systematische Untersuchung von Vernetzungen und Hierarchiesierungen mit dem lernenden Regelkreis als Grundbaustein in Ausdehnung erster Untersuchungen in dieser Richtung [19] vorgesehen. Als dritte Zielsetzung soll die Verknüpfung der abstrakten Intelligenz, wie sie durch KI-Methoden repräsentiert wird, mit den hier erläuterten Ansätzen der senso-motorischen Intelligenz betrachtet und so versucht werden, die Fähigkeiten des Menschen in der Beherrschung komplexer Prozesse noch besser zu imitieren.

Literatur

[1] Ersü, E.: On the Application of Associative Neural Network Models to Technical Control Problems. 8. Kybernetik Kongreß, Tübingen 1983. In: Localization and Orientation in Biology and Engineering. Hrsg.: D. Varju und H. U. Schnitzler. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag 1984.

[2] Piaget, J.: Psychologie der Intelligenz. 8. Auflage. Stuttgart: Verlag Klett-Cotta 1984.

[3] Ersü, E.: Tolle, H.: A New Concept for Learning Control Inspired by Brain Theory. 9th IFAC World Congress, Budapest 1984.

[4] Ersü, E.; Militzer, J.: Real-Time Implementation of an Associative Memory-Based Learning Control Scheme for Non-Linear Multivariable Processes. Symposium "Application of Multivariable System Techniques", Plymouth (UK) 1984.

[5] Ersü, E.; Mao, X.: Control of pH by Use of a Self-Organizing Concept with Associative Memories. ACI '83, Kopenhagen (Denmark) 1983.

[6] Ersü, E.; Wienand, S.: An associative Memory Based Learning Control Scheme With PI-Controller For SISO-Non-linear Processes. IFAC Symposium on Microcomputer Applications in Process Control, Istanbul (Turkey) 1986.

[7] Ersü, E.; Tolle, H.: Learning Control Structures with Neuron-Like Associative Memory Systems. In: Organization of Neural Networks, Structures and Models. Hrsg.: W. von Seelen, G. Shaw, U. M. Leinhos. Weinheim: VHC-Verlagsgesellschaft 1988.

[8] Militzer, J.; Tolle, H.: Vertiefungen zu einem Teilbereiche der menschlichen Intelligenz imitierenden Regelungsansatz. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, München 1986.

[9] Rosenblatt, F.: Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanism. Washington DC: Spartan Books 1961.

[10] Albus, J. S.: Theoretical and Experimental Aspects of a Cerebellar Model. Ph. D. Thesis. University of Maryland 1972.

[11] Marr, D.: A Theory of Cerebellar Cortex. J. Physiol., London 202 (1969), S. 437—470.

[12] Pellionisz, A.; Llinas, R.: Tensorial Approach to the Geometry of Brain Function: Cerebellar Coordination via a Metric Tensor. Neuroscience 5 (1980), S. 1125—1136.

[13] Albus, J. S.: A Model of the Brain for Robot Control — Part 2: A Neurobiological Model. Byte 7 (1979), S. 54—95.

[14] Albus, J. S.: Mechanismus of Planning and Problem Solving in the Brain. Mathematical Biosciences 45 (1979), S. 247—293.

[15] Ersü, E.; Militzer, J.: Software Implementation of a Neuronlike Associated Memory System for Control Applications. 2nd IASTED Conference on MINI- and MICRO-Computer Applications, MIMI '82, Davos (Switzerland) 1982.

[16] Ersü, E.; Tolle, H.: Acceleration of Learning by Variable Generalization for On-line Self-Organizing Control. 5th Polish-English Seminar "Real-Time Process Control", Radovicé (Poland) 1986.

[17] McLain, D. H.: Drawing Contours from Arbitrary Data Points. Comp. J. 17 (1974), S. 318—324.

[18] Renka, R. J.; Cline, A. K.: A Triangle-Based C^1 Interpolation Method. Rocky Mountain J. of Math. 14 (1984) 1, S. 223—237.

[19] Ersü, E.; Tolle, H.: Collected Papers of the IEEE Conf. on Neural Information Processing Systems, Denver 1987. American Institute of Physics 1988.

msr 8979

H. Strickert, U. Leinweber

Grafisch-interaktive Systeme im Schiffsbetrieb: Anwendungen und Anforderungen

0. Einleitung

Die Schiffsautomatisierung erfährt gegenwärtig eine wesentliche Weiterentwicklung: In der vorangegangenen Etappe sind vorwiegend die relativ selbständigen Teilsysteme Hauptantriebsanlage, Stromerzeugeranlage, Dampferzeugeranlage, Kälte-/Klima-Anlage, Systeme der Betriebsstoff-Aufbereitung und -Versorgung u. a. automatisiert worden, wobei die Funktionen **Überwachen, Sichern** und **Stabilisieren** im Vordergrund standen. Die Abhängigkeiten und Verknüpfungen zwischen den Teilen sind weitgehend nicht miterfaßt worden. Nunmehr geht es, unter dem Einfluß erhöhter Ansprüche an die Material- und Energieökonomie sowie an den Einsatz lebendiger Arbeit an Bord, auch um die Koordinierung der entstandenen „Automatisierungsinseln", um die Qualität von Entscheidungen zur Führung des Gesamtprozesses zu verbessern und die Wirksamkeit von Optimierungen zu erhöhen.

Zustandsabhängige **Prozeßführung** und **Prozeßoptimierung** im Schiffsbetrieb erfordern, zunehmend in Aufwärtsrichtung der Ebenenhierarchie nach Bild 1, die Interaktion von Operateur und Rechner: Einerseits ist das Volumen an Informationsverarbeitung ohne elektronische Rechenhilfe rationell nicht zu bewältigen, andererseits können die auftretenden Entscheidungsprobleme nicht ausschließlich algorithmisch gelöst werden (unscharfe Problembeschreibung). Insbesondere wird der Dialogbetrieb benötigt.

Zustandsabhängige Prozeßführung und Prozeßoptimierung im Schiffsbetrieb erfolgen anhand großer Datenmengen (Meßdaten, Rechenergebnisse, Eingabedaten). Um diese Datenmengen praktisch zu beherrschen, ist die **grafische Verarbeitung** sinnvoll bzw. erforderlich.

1. Vertiefte Prozeßinformation und höherwertige Prozeßsteuerung erfordern grafisch-interaktive Arbeitsweise

1.1. Strategie der Informationsgewinnung in komplexeren Systemen

Im Schiffsbetrieb unterliegen die zu steuernden Prozeßzustände i. allg. erheblichen stochastischen Störungen. Desgleichen sind auch die Meßdaten für die Zustandsbeschreibung mehr oder minder stark verrauscht. Solchen Bedingungen wird die folgende Strategie der Informationsgewinnung am Prozeß gerecht. Zum bevorstehenden Meßzeitpunkt k wird ein Zustandsvektor $\boldsymbol{x}^*(k)$ auf der Basis vorangegangener Messungen sowie mittels der Bewegungsgleichungen des Meßobjekts vorhergesagt. Nach Eintreffen der aktuellen Meßwerte $\boldsymbol{y}(k)$ aus den zusammenwirkenden Meßsystemen sind der vorhergesagte Wert und der aktuelle Meßwert zu einem plausiblen Schätzwert $\hat{\boldsymbol{x}}(k)$ des momentanen Zustandes zu kombinieren. Hierbei ist über die Gewichte zu entscheiden, die dem vorhergesagten und den aktuell gemessenen Werten beizulegen sind. Bei linearisierbarer Meßgleichung kann der Schätzwert ganz allgemein nach (1) bestimmt werden, in der die Gewichte durch die Wahl der Matrix $\boldsymbol{K}(k)$ festgelegt werden ($\boldsymbol{C}$ Meßmatrix).

$$\hat{\boldsymbol{x}}(k) = \boldsymbol{x}^*(k) - \boldsymbol{K}(k) \cdot [\boldsymbol{y}(k) - \boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{x}^*(k)] \qquad (1)$$

In einfacheren Fällen kann eine sinnvolle Entscheidung über die Gewichte für die extrapolierten und die aktuell gemessenen Werte mittels Kalman-Filterung erhalten werden [1]. In komplizierteren Fällen muß der Operateur zu einer Entscheidung über die Gewichte kommen, z. B. auf der Basis umfangreicher Prüfungen und verschiedener Vergleiche. Gerade hierfür ist die interaktive Arbeitsweise nützlich.

1.2. Strukturierung des Schiffsbetriebes

Aufgrund seiner Komplexität sowie der Vielfalt innerer und äußerer Einflüsse muß der Schiffsbetrieb unter kybernetischem Aspekt als **großes System** aufgefaßt und behandelt werden. Für seine Überwachung und Steuerung, einschließlich der zeitgerechten Erneuerung von Optimierungen, kommt naturgemäß eine hierarchische Strukturierung in Betracht. Für die schrittweise (horizontale) Zerlegung in Subsysteme als hervorstechendes Merkmal einer hierarchischen Strukturierung wird in [2] eine Untergliederung (Mehrebenen-System) vorgestellt, die Bild 1 im Auszug wiedergibt. In Verbindung mit dieser Untergliederung ist die Einteilung des Schiffsbetriebes in Zustandsklassen (Manöverbetrieb, Seebetrieb, Hafenbetrieb, Notbetrieb usw.) von Bedeutung, weil hiervon

- die Art und Weise, wie die Teilsysteme verknüpft sind
- die jeweiligen Optimierungskriterien und Randbedingungen
- die Einflüsse aus der taktischen Umwelt und dem Systeminnern

wesentlich abhängen.

In Übereinstimmung mit den Echtzeitanforderungen an die Informationsverarbeitung ist es gegebenenfalls sinnvoll bzw. notwendig, eine Steuerungsfunktion vertikal in Schichten zu untergliedern: Schicht der direkten Steuerung, Optimierungsschicht, Adaptionsschicht (vgl. Abschn. 1.4.).

Bezüglich der Probleme beim Entwurf von Mehrebenen-Steuerungen (hierarchische Dekomposition des Prozesses in semiautonome Subprozesse) und Mehrschichtsteuerungen (hierarchische Dekomposition des Reglers in Funktionsschichten gestaffelter Eingriffshäufigkeit) sowie von kombinierten Mehrschicht-Mehrebenen-Steuerungen vgl. z. B. [3].

1.3. Einsatz von Prozeßleitsystemen

Für eine effektive Bearbeitung der Koordinierungsaufgaben innerhalb der Ebenenhierarchie sowie der Optimierungs- und Adaptionsaufgaben innerhalb der Schichthierarchie erlangen **Prozeßleitsysteme** zunehmend Bedeutung.

Prozeßleitsysteme werden hier als komplexe, strukturierbare Automatisierungssysteme verstanden, die aus Subsystemen für Teilprozesse, aus einem Informationsübertragungssystem in Bus-, Ring- oder Sternstruktur, aus einem Bedien- und Darstellungssystem unter Verwendung farbgrafischer Displays sowie aus frei programmierbarer Rechentechnik für rechnerunterstützte Ingenieurarbeit bestehen. Zu den typischen Merkmalen, die mit dem Einsatz von Prozeßleitsystemen einhergehen, gehören

- die Prozeßführung im Dialog Operateur/Automatisierungssystem
- die flexible Prozeßdarstellung mittels elektronischer Visualisierung (Serialisierung der Darstellung, Staffelung der Detailliertheit, farbliche Differenzierung u. a.)
- die Einbeziehung der Simulation in die Prozeßführung
- die verstärkte Anwendung adaptiver Verfahren.

Prof. Dr. sc. techn. HERBERT STRICKERT (50) ist Leiter des Wissenschaftsbereiches Automatisierungstechnik an der Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow.

Dipl.-Ing. UWE LEINWEBER (31) studierte von 1979 bis 1984 an der Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow Schiffselektronik. 1984 bis 1987 Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent am Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik dieser Hochschule. Seit 1988 Entwicklungsingenieur im VEB Schiffselektronik Rostock.

Allein bereits im Teilbereich Schiffsmaschinenbetrieb ist eine Vielzahl von adaptiven Steuerungen vorbereitet und verifiziert worden, für deren Durchführung eine interaktive Arbeitsweise sinnvoll ist, darunter auch

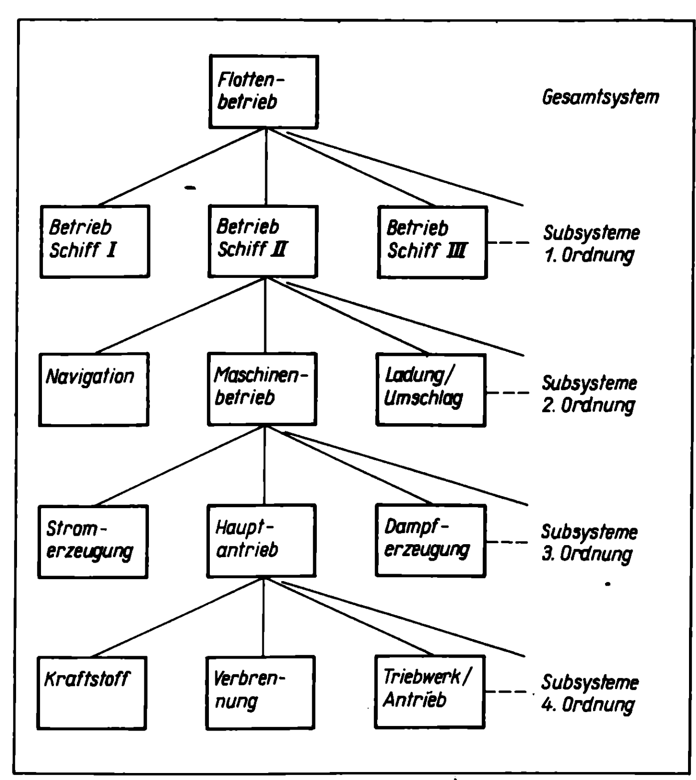
- die geschwindigkeitsoptimale Steuerung der Schiffsbewegung bei Hauptantriebsanlagen aus Dieselmotor und Verstellpropeller [4]
- die energieoptimale Steuerung des stationären Betriebszustandes von Dieselmotor und Verstellpropeller [5]
- die gekoppelte Steuerung der Energieumsetzung in den Motorbrennräumen und des Wärmetransportes durch das Kühlmittel, um Naßkorrosion zu vermeiden (Seebetrieb) und um die Wechsellast-Beanspruchung der Zylinderlaufbuchsen zu reduzieren (Manöverbetrieb) [6].

Darüber hinaus gibt es Aufgaben der komplexen Steuerung von Kraftstoff- bzw. Heizölstrom und Abwärmeströmen innerhalb der Systeme zur Propulsions- und Hilfsenergieerzeugung, zu deren Lösung mittels Prozeßleitsystem keine praktikable Alternative existiert. Dies gilt insbesondere auch für die Integration der technischen Diagnostik in die komplexe Schiffsbetriebsführung gemäß Bild 2, behandelt z. B. in [7], wobei die innewohnenden Probleme hier zwangsläufig zur Entwicklung/Anwendung von Expertensystemen als fortgeschrittener Form interaktiver Arbeit drängen.

1.4. Beispiel: Drehzahlsteuerung von Hauptmotoren

Die Steuerung der Drehzahl kann als Mehrschichtsystem gemäß Bild 3 realisiert werden. In der Schicht der direkten Steuerung wird das Stellsignal (Kraftstoffüllung) generiert, durch das Drehzahlfehler infolge von Störeinflüssen oder/und Änderungen des Sollwertes unmittelbar kompensiert werden. Die zeitlich vordringlichsten und vom potentiellen Änderungsbereich her zugleich intensivsten Störungen, nämlich die Schwankungen des Propellerdrehmomentes infolge von Seegang und Ruderlegen, können effektiv nur in dieser Schicht ausgeregelt werden.
In der Optimierungsschicht wird der optimale Sollwert n_{soll} generiert, z. B. Bestimmung der Motorsolldrehzahl gemäß der geforderten Schiffsgeschwindigkeit oder zeitgerechtes Hochfahren der Motorsolldrehzahl, um kritische Wärmespannungen in Zylinderlaufbuchsen und -deckeln bei Änderung der Schiffsgeschwindigkeit zu vermeiden. Bei der Bestimmung der Solldrehzahl kann die Intensität der obengenannten dynamischen Störungen berücksichtigt werden, z. B. Drehzahlreduzierung bei schwerem Seegang. Jedoch können Drehzahlfehler infolge dieser Störungen nicht in der Optimierungsschicht kompensiert werden. Dagegen ist es möglich, Drehzahlfehler infolge quasistationärer Störungen (Tiefgangeinfluß, Kraftstoffqualität, mechanischer Zustand der Propulsionsanlage usw.) durch entsprechende Zuschläge zu n_{soll} bereits in dieser Schicht zu beeinflussen.
In der Adaptionsschicht werden die Parameter und eventuell die Struktur des Reglers (z. B. PI-Algorithmus im Teillastbereich und PID-Algorithmus für Nennlast) auf den aktuellen Betriebspunkt der Antriebsanlage eingestellt. Hierbei werden prozeßspezifische Gütekriterien, wie Minimierung des Kraftstoffverbrauchs und des Verschleißes im Seebetrieb, eingehalten. Diese Aufgaben in der Adaptionsschicht haben zeitlich die niedrigste Dringlichkeit und können daher z. B. auch einem Suchverfahren unterworfen werden, das auf dem Dialog Operateur/Prozeßleitsystem basiert.

Bild 1. Hierarchische Dekomposition des komplexen Schiffsbetriebes in semiautonome Subprozesse



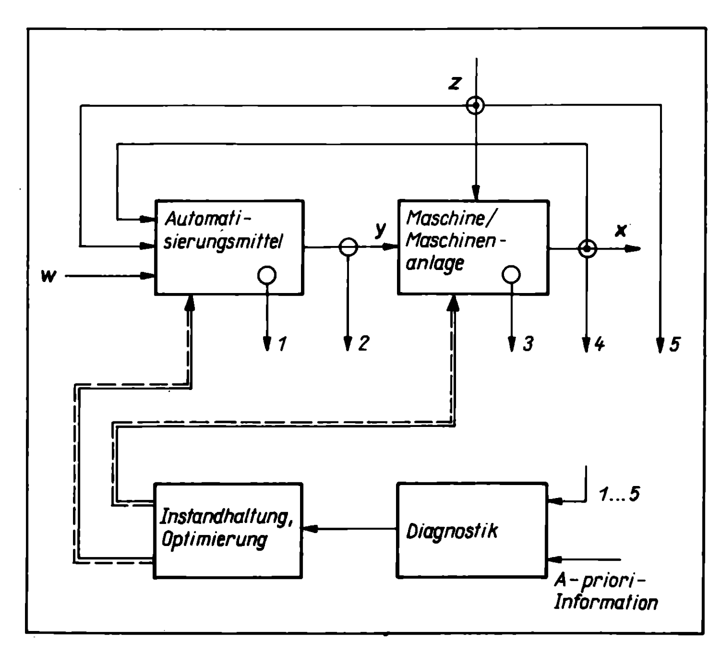


Bild 2. Integration der technischen Diagnostik in die komplexe Prozeßführung

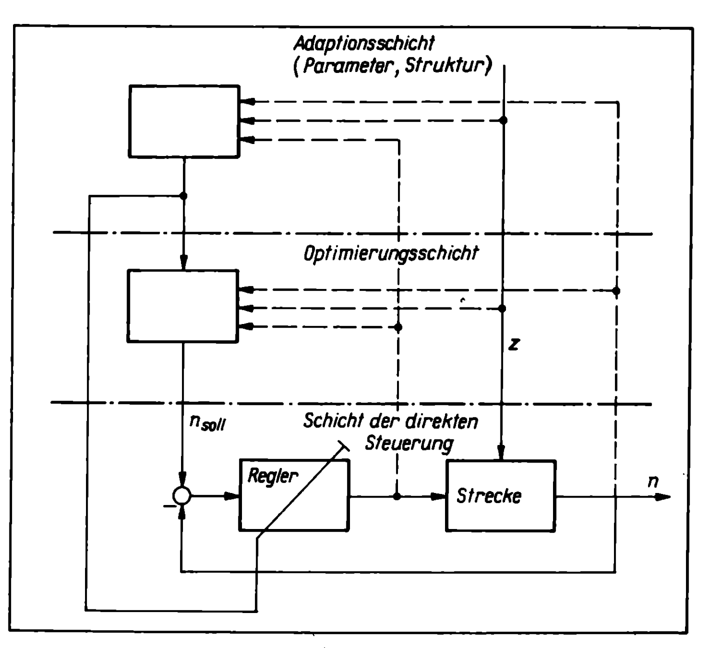


Bild 3. Drehzahlsteuerung des Schiffshauptantriebes als Mehrschichtsystem

1.5. Verflechtung Maschine/Brücke

Beispiel: Steuerung der Schiffsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeitsplanung für die Reisedurchführung hat großen Einfluß auf die Energieökonomie. Ein möglicher Zugang beruht hier auf der Zerlegung der Reise in Abschnitte, von denen jedem ein von der Geschwindigkeit und von weiteren Parametern des Betriebszustandes abhängiger Kraftstoffverbrauch je Zeiteinheit oder je Wegeinheit zugeordnet wird. Unter Anwendung des Bellmanschen Optimalprinzips lassen sich dann für die einzelnen Abschnitte die zugehörigen Geschwindigkeiten so bestimmen, daß der Gesamtverbrauch an Energie minimal wird. Dabei muß der auf die Zeit bzw. auf den Weg normierte Verbrauch in Abhängigkeit von den prognostizierten Variablen des Betriebszustandes vorausbestimmt werden [8]. Während der Reisedurchführung können sich die realen Zustandsvariablen möglicherweise spürbar von den vorhergesagten Werten unterscheiden. Dann ist dieselbe Prozedur auf den verbleibenden Teil der Reise anzuwenden, um für diesen einen neuen optimalen Fahrplan aufzustellen.
In jedem Fall ist eine Vielzahl von Varianten durchzumustern, da eine Vielzahl von einstellbaren und nichteinstellbaren Einflüssen beteiligt ist. Die Kopplungen, die durch das Prozeßleitsystem hinsichtlich der Teilbereiche „Ladung/Umschlag“, „Navigation“ und „Maschinenbetrieb“ sowie hinsichtlich der Umwelt (Flottensteuerung, Hydrometeorologie) zu berücksichtigen sind, gehen aus Bild 4 hervor. Die Zweckmäßigkeit einer interaktiven Arbeitsweise bei der Problemlösung ist offenkundig.

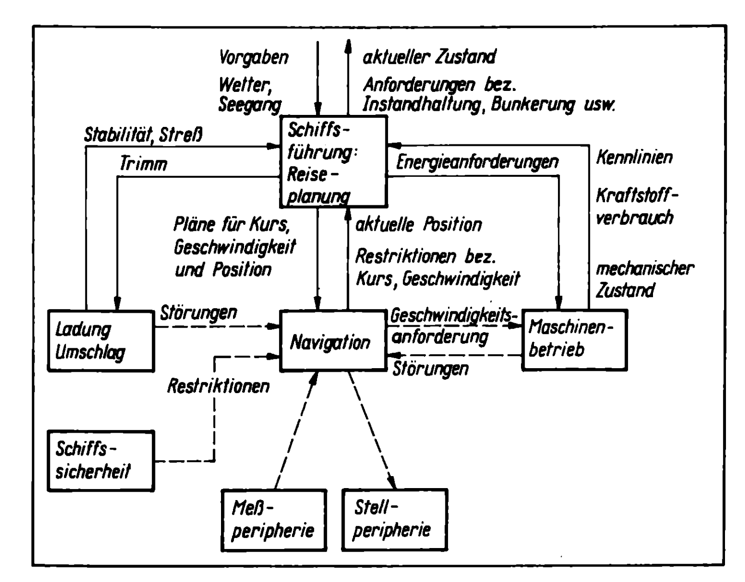


Bild 4. Informationelle Kopplungen, die bei der Geschwindigkeitsplanung auszuwerten sind

Tafel. Schichtenmodell der Grafiksoftware

Nr.	Bezeichnung	Funktionen
1	Gerätetreiber-schicht	Punkt, Vektor, Kreis, alphanumerische Zeichen, Darstellungsattribute im Gerätekoordinatensystem Y
2	Koordinaten-transformations-schicht $x_i = Ty_i$	das gleiche im Nutzerkoordinatensystem X
3	Bildelemente-schicht	2D- und 3D-Diagramm, Elemente von Fließbildern (Motor, Ventil, Pumpe u. a.)
4a	Laufzeitsystem	Bild anzeigen und aktualisieren
4b	Generierungs-system	interaktiver Entwurf der Bilder (Displayfiles)

2. Anforderungen an grafisch-interaktive Systeme im Schiffsbetrieb

Das grafisch-interaktive System besteht aus grafischem Dialogsystem und Datenbanksystem.
Für den Schiffsmaschinenbetrieb relevante Darstellungen auf Farbdisplay sind

- Fließbilder und alphanumerische Darstellungen für die Überwachung, Bedienung und Störungsbeseitigung
- Diagramme und Kennfelder für Aufgaben der technischen Diagnostik, der Koordinierung von Teilprozessen und der Optimierung des Schiffsbetriebes.

Die Auswahl der darzustellenden Information muß sowohl automatisch in Abhängigkeit vom Betriebszustand (Manöverbetrieb, Seebetrieb, Hafenbetrieb usw.) als auch vom Operateur gesteuert erfolgen.
Da sich die Menge der Darstellungen relativ genau festlegen läßt und für den Bildaufbau Zeiten im Bereich von 1 s gefordert werden, muß eine angepaßte Grafiksoftware entworfen werden. Struktur und funktionaler Umfang der Grafiksoftware lassen sich vorteilhaft an einem Schichtenmodell erläutern [9] (s. Tafel). Schicht 1 wurde für unterschiedliche Grafikhardware wegen der Laufzeiteffizienz in Assemblersprache realisiert, während die geräteunabhängigen Schichten 2 ... 4 in PASCAL programmiert sind.
Die Notwendigkeit eines Datenbanksystems ergibt sich aus

- dem Umfang der im Schiffsbetrieb automatisch zu verarbeitenden Daten
- der unterschiedlichen Struktur der Daten
- der Forderung, konkurrierende Zugriffe verschiedener Nutzer auf die Daten zu verwalten.

Aus Nutzersicht sollen in der Datenbasis folgende Informationsstrukturen enthalten sein:

- **Meßwerte,** bestehend aus Meßstellen-Nr., Bezeichnung, letzten n Meßwerten bzw. Meßwertreihen, Einheit, zulässigen Grenzwerten (z. B. T1731; Temperatur Kühlwasser Austritt Abgasturbolader 1; letzter Meßwert = 85; °C; OGW = 95);
- **Störungen,** bestehend aus Uhrzeit, Meßstellen-Nr., Meßwert, Bezeichnung (z. B. 13.25; T227; 55 °C; Temperatur Schmieröl Motoreintritt zu hoch — Drehzahlreduzierung);
- **Schaltzustände,** die Auskunft über die „aktive Konfiguration“ der Schiffsmaschinenanlage geben (z. B. 14.00; Schmierölseparator 1; Aus; gelaufen seit 13.00);
- **Handlungen** (z. B. 08.00; Drehzahlreduzierung 90 $\min^{-1}$);
- **Ressourcen** (Betriebsstoffe, Restnutzungsdauern u. a.);
- **Schiffs- und anlagenspezifische Daten** (Trimmkurven, Motorkennfelder u. a.).

Es läßt sich abschätzen, daß der Umfang der Daten für den Teilbereich Schiffsmaschinenbetrieb in der Größenordnung von Megabyte liegt.
Da bestimmte Datenbankoperationen, z. B. das Eintragen der Meßwerte und der Störungen, mit dem Prozeßgeschehen Schritt halten müssen, liegen Echtzeitbedingungen vor. Dies schränkt die Einsetzbarkeit kommerzieller Datenbanksysteme ein (vgl. [10]) und bedeutet für den Datenbankentwurf, daß besondere Aufmerksamkeit auf die Auswahl laufzeiteffizienter Zugriffsmethoden zu verwenden ist.
Sowohl das grafische Dialogsystem als auch das Datenbanksystem müssen in ein Echtzeitbetriebssystem eingebettet werden.
Unter den Bedingungen der Schiffsbauindustrie (Kleinserien- bzw. Einzelfertigung) kommt der Projektierbarkeit der Softwarekomponenten [11] besonderes Gewicht zu. Wie bereits bei der Erläuterung des grafischen Dialogsystems angedeutet (vgl. Schicht 4 in der Tafel), muß die Software des grafisch-interaktiven Systems sowohl eine Generierungs- als auch eine Laufzeitkomponente enthalten.

Schlußfolgerungen

Die technische Entwicklung in der Schiffahrt vollzieht sich verstärkt in der Weise, daß wichtige ökonomische Wirkungen nicht mehr allein durch die Wahl der Parameter des Schiffes und der Schiffsmaschinenanlage realisiert werden können, sondern der Entscheidung des Schiffsingenieurs auf der Basis umfangreicher Prozeßkenntnis bedürfen. Zunehmend gelangen technische Lösungen, die den Gebrauchswert verbessern, nur über den Dialog Operateur/Computer zu optimaler Wirkung im Schiffsbetrieb. Demgemäß werden die Steuerzentralen an Bord schrittweise zu interaktiven Arbeitsplätzen entwickelt, um zunehmend die Prozeßführung im Dialogbetrieb zu ermöglichen. Für Aufgaben der komplexen Betriebsführung, wie Flottenzulaufsteuerung, Reiseplanung und Vorbereitung der Schiffsinstandhaltung, ist interaktives Zusammenwirken von Bordsystemen und landgestützten Rechenzentralen zu realisieren. In einer derartigen Prozeßgestaltung spielen grafisch-interaktive Systeme eine zentrale Rolle.

Literatur

[1] Strickert, H.; Hoffmann, P.: Automated Processing and Display of Navigation Measurement Signals. 5th International IMEKO Symposium "Intelligent Measurement", Jena, June 10—14, 1986, Volume 1, pp. 228—231.

[2] Strickert, H.; Uhlig, L.; Lüsch, J.; Hein, D.: Effektivitätsfaktor Schiffsautomatisierung — Entwicklungsstand und -tendenzen. Wissenschaftliche Beiträge der IH für Seefahrt Warnemünde/Wustrow (1982) S. 24—36.

[3] Bailey, F. N.; Malinowski, K. B.: Problems in the Design of Multilayer, Multiechelon Control Structures. Proceedings of the 4th IFAC International Symposium, Fredericton (Canada), July 4—8, 1977, pp. 31—38.

[4] Henning, K.: Untersuchungen zum Einsatz eines rechnergestützten adaptiven Systems zur annähernd schnelligkeitsoptimalen Schiffssteuerung. Dissertation A, IH für Seefahrt Warnemünde/Wustrow 1981.

[5] Kucharzewski, H.: Adaptive Steuerung des stationären Betriebszustandes von Dieselmotor und Verstellpropeller. Dissertation A, IH für Seefahrt Warnemünde/Wustrow 1983.

[6] Menzel, H.: Beitrag zur zustandsabhängigen Steuerung der Kühlkreisläufe von Schiffsdieselmotoren. Dissertation A, IH für Seefahrt Warnemünde/Wustrow 1987.

[7] Strickert, H.; Troppens, D.: Technische Diagnostik und Automatisierung. msr, Berlin 26 (1983) 2, S. 129—133.

[8] Moeck, E.; Strickert, H.: Energieökonomie im Schiffsbetrieb. Schiff & Hafen/Kommandobrücke (1986) 3, S. 79—82.

[9] Leinweber, U.: Untersuchungen zum grafisch-interaktiven System im Prozeßleitsystem Schiffsmaschinenbetrieb. F/E-Bericht, IH für Seefahrt Warnemünde/Wustrow 1987 (unveröffentlicht).

[10] Schlunk, R. W.; Maas, G.: Die Verwendung von relationalen Datenbanksystemen mit Echtzeit-Daten. atp 29 (1987) 7, S. 324—330.

[11] Töpfer, H.: Bemerkungen zur Einheit von Hardware, Software und Entwurfsmitteln. msr, Berlin 30 (1987) 6, S. 246—248.

msr 8828

M. Drmota, R. F. Tichy

Deterministische Approximation stochastisch-ergodischer Signale

0. Einleitung

Stochastisch-ergodische Meßverfahren (SEM) können als elektronische Realisierung der aus der Mathematik bekannten Monte-Carlo-Verfahren interpretiert werden. Das Kernstück des SEM ist der ergodische Konverter, der aus einem Eingangssignal $e(t)$ eine Impulsfolge $z(t)$ liefert, über deren zeitliche Mittelung das Meßergebnis erhalten wird. Im ergodischen Konverter wird ein (stochastisch-ergodisches) Referenzsignal $r(t)$ erzeugt, das mit dem Eingangssignal verglichen wird:

$$z_e(t) = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad r(t) \leqq e(t) \\ 0 & \text{für} \quad r(t) > e(t) \end{cases} \tag{1}$$

Der Meßbereich soll stets auf das Intervall [0, 1] normiert werden, d. h. $0 \leqq r(t), e(t) \leqq 1$. Zur Verdeutlichung wird Bild 1 betrachtet, in dem $r(t)$ ein Sägezahnsignal und $e(t) = E$ ein konstantes Signal ist.

Der Meßwert

$$M_e(T) = \frac{1}{T} \int_0^T z_e(t) \, dt \tag{2}$$

strebt für $T \to \infty$ gegen den zu bestimmenden Wert E des Eingangssignals. Wichtig ist dabei, daß es sich bei $r(t)$ um ein ergodisches Signal handelt, d. h., die zeitliche Mittelung von $r(t)$ konvergiert gegen die stationäre Verteilung (Ensemblemittelung). Eine detaillierte Einführung in SEM findet man z. B. in [6].

Dipl.-Ing. Dr. techn. Michael Drmota (24) studierte an der TU Wien von 1982 bis 1986 Technische Mathematik und von 1982 bis 1987 Elektrotechnik. 1986 Promotion auf dem Gebiet der Technischen Mathematik. Seit 1986 Assistent am Institut für Algebra und Diskrete Mathematik der TU Wien.

Univ.-Doz. Dr. phil. Robert F. Tichy (31) studierte von 1975 bis 1979 Mathematik an der Universität Wien. 1979 Promotion. Von 1980 bis 1983 Assistent und seit 1983 Dozent am Institut für Technische Mathematik der TU Wien. Dort 1983 Habilitation.

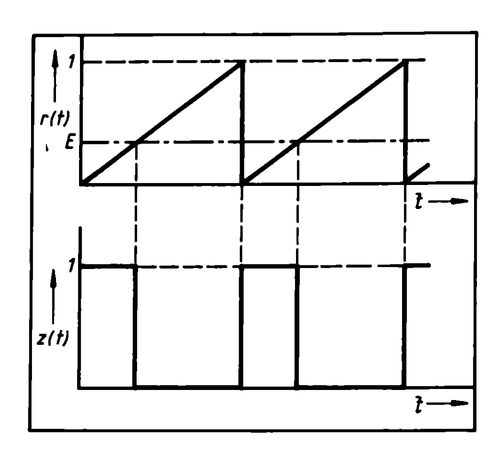


Bild 1. Stochastisch-ergodisches Meßprinzip

1. Beschreibung des Meßfehlers

Die stochastische Eigenschaft der Ergodizität eines Signals $r(t)$ kann auf verschiedene Arten in rein deterministischer Weise betrachtet werden. Gilt

$$\lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T I_E(r(t))\,dt = E \qquad (0 \leqq E \leqq 1)\,, \tag{3}$$

I_E charakteristische Funktion des Intervalls $[0, E]$ so heißt das Signal $r(t)$ gleichverteilt. Beispielsweise erfüllt jede periodische Sägezahnkurve diese Bedingung, aber auch Signale, die durch ein modulo-1-reduziertes Polynom erzeugt werden (siehe [3]). Aus (3) folgt, daß für jede stetige Funktion $f(x)$ in $[0, 1]$

$$\lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(r(t))\,dt = \int_0^1 f(x)\,dx \tag{4}$$

gilt, d. h., das zeitliche Mittel ist asymptotisch gleich dem räumlichen Mittel, was der Ergodizität entspricht. Für viele Zwecke, insbesondere für die Meßtechnik, ist es günstiger, das Signal $r(t)$ nicht immer neu starten zu müssen, sondern zu verlangen, daß

$$\lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_\tau^{\tau+T} I_E(r(t))\,dt = E \tag{5}$$

gleichmäßig in $\tau \geqq 0$ gilt. Solche Signale heißen gleichmäßig gleichverteilt. Alle oben genannten Beispiele haben diese Eigenschaft. Es sei bemerkt, daß in einer stochastischen Betrachtungsweise die gleichmäßige Gleichverteilung nicht sinnvoll ist, denn ein zufälliges Signal hat diese Eigenschaft fast sicher nicht [1].
Im folgenden soll der maximale Meßfehler etwas näher untersucht werden. Dieser ist durch die Diskrepanz

$$D_T(r(t)) = \sup_{0\leqq E\leqq 1} \left| \frac{1}{T} \int_0^T I_E(r(t))\,dt - E \right| \tag{6}$$

bzw. durch die gleichmäßige Diskrepanz

$$\tilde{D}_T(r(t)) = \sup_{\substack{0\leqq E\leqq 1\\ \tau\geqq 0}} \left| \frac{1}{T} \int_\tau^{\tau+T} I_E(r(t))\,dt - E \right| \tag{7}$$

gegeben.
Kennt man eine Abschätzung für die Diskrepanz, dann hat man auch eine Abschätzung für den Meßfehler. So gilt für die oben genannten Beispiele [2]

$$\tilde{D}_T(r(t)) \leqq \frac{\text{const}}{T}\,. \tag{8}$$

Das ist bedeutend besser als der mittlere erwartete Meßfehler, der die Größenordnung $T^{-1/2}$ hat [6].

Die bisherigen Begriffsbildungen beschreiben die stochastisch-ergodische Messung konstanter Eingangssignale, die die Grundlage für alle weiteren Anwendungen bildet.

2. Mittelwert-, Summen- und Produktbildung

Wichtiger als die Messung eines konstanten Signals ist die Messung eines Mittelwertes. Es sei hier etwa an die Unterdrückung des Rauschens eines Signals gedacht. Durch Mittelwertbildung verschwindet der Rauschanteil (oder wird zumindest reduziert). Andererseits werden wichtige Kenngrößen periodischer Signale, wie der Effektivwert, durch Mittelwertbildung definiert.

2.1. Mittelwert periodischer Signale

Es sei $e(t)$ ein periodisches Signal mit Periode T_0. Ziel ist es, eine Abschätzung für den Meßfehler

$$\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} e(t)\,dt - M_e(T) \tag{9}$$

anzugeben. Geht man von einem beliebigen gleichverteilten Referenzsignal aus, so muß die Differenz (9) nicht unbedingt gegen 0 konvergieren. Gilt jedoch, daß für alle natürlichen Zahlen h, k das Differenzsignal

$$h(r(t + kT_0) - r(t)) \qquad (\text{mod } 1) \tag{10}$$

gleichverteilt ist, so strebt (9) gegen 0. Betrachtet man nämlich das zweidimensionale Signal $(r(t), e(t))$, so hat jede Komponente eine Verteilungsfunktion, denn $r(t)$ ist gleichverteilt und $e(t)$ ist periodisch. Kann man die Existenz einer zweidimensionalen Verteilungsfunktion $xF(y)$ nachweisen, so konvergiert $M_e(T)$ gegen

$$\int_0^1 \int_0^1 I_y(x)\,dx\,dF(y) = \int_0^1 y\,dF(y) = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} e(t)\,dt\,. \tag{11}$$

Aus dem Hauptsatz von VAN DER CORPUT [4] und (10) folgt, daß für alle ganzen Zahlen $h_1 \neq 0$, h_2 das Signal $h_1 r(t) + h_2 e(t)$ (mod 1) gleichverteilt ist. Daher gilt $(j = \sqrt{-1})$

$$\lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T \exp(2\pi j(h_1 r(t) + h_2 e(t)))\,dt = 0 =$$
$$= \int_0^1 \int_0^1 \exp(2\pi j(h_1 x + h_2 y))\,dx\,dF(y)\,. \tag{12}$$

Für $h_1 = 0$ gilt offensichtlich

$$\lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T \exp(2\pi j h_2 e(t))\,dt = \int_0^1 \int_0^1 \exp(2\pi j h_2 y)\,dx\,dF(y)\,. \tag{13}$$

Also ist nach dem Weylschen Kriterium [4] die zweidimensionale Verteilungsfunktion tatsächlich $xF(y)$.
Das einfachste Beispiel eines Signals $r(t)$, das (10) erfüllt, ist $r(t) = t^2$ (mod 1). Für diesen Spezialfall wird nun eine Fehlerabschätzung angegeben, wobei zunächst angenommen wird, daß $F(y)$ Lipschitz-stetig ist (d. h. $|F(x) - F(y)| \leqq M|x - y|$). Für natürliche Zahlen h, k gilt

$$\left| \int_0^T \exp(2\pi j(r(t + kT_0) - r(t)))\,dt \right| \leqq \frac{1}{2\pi hkT_0}\,, \tag{14}$$

woraus aus dem Hauptsatz von VAN DER CORPUT

$$\left| \frac{1}{T} \int_0^T \exp(2\pi j(h_1 r(t) + h_2 e(t)))\,dt \right| \leqq c(T_0)\,T^{-1/2} \tag{15}$$

folgt.

Nach der Ungleichung von NIEDERREITER-WILLS und der verallgemeinerten Erdös-Turan-Ungleichung von H. NIEDERREITER und W. PHILIPP [5] gilt nun

$$\left|\frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} e(t)\,\mathrm{d}t - M_e(T)\right| \leqq$$

$$\leqq C\left(\frac{M}{H} + \sum_{0<\max(|h_1|,|h_2|)\leqq H}\frac{1}{r(h_1,h_2)}\,|G(h_1,h_2)|\right)^{1/2}, \tag{16}$$

wobei $r(h_1, h_2) = \max(1, |h_1|) \cdot \max(1, |h_2|)$, M die Lipschitz-Konstante von $F(y)$, C eine globale Konstante, H eine beliebige natürliche Zahl und $G(h_1, h_2)$ eine Abkürzung für den Fourier-Koeffizienten sind:

$$G(h_1,h_2) = \int_0^1\int_0^1\left(\frac{1}{T}\int_0^T I_x(r(t))\,I_y(e(t))\,\mathrm{d}t - xF(y)\right)\times$$

$$\times\,\mathrm{e}^{2\pi j(h_1x+h_2y)}\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,. \tag{17}$$

Wertet man $G(h_1, h_2)$ für $T = KT_0$, also für ganzzahlige Vielfache von T_0 aus, erhält man wegen der Periodizität von $e(t)$

a) für $h_1h_2 \neq 0$:

$$G(h_1,h_2) = \frac{1}{4\pi^2h_1h_2}\left(\frac{1}{KT_0}\int_0^{KT_0}\mathrm{e}^{2\pi jh_1r(t)}\,\mathrm{d}t - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{KT_0}\int_0^{KT_0}\mathrm{e}^{2\pi j(h_1r(t)+h_2e(t))}\,\mathrm{d}t\right), \tag{18}$$

b) für $h_1 = 0,\ h_2 \neq 0$:

$$G(h_1,h_2) = \frac{1}{2\pi jh_2}\,\frac{1}{KT_0}\int_0^{KT_0}\left(\frac{1}{2} - r(t)\right)(1 - \mathrm{e}^{2\pi jh_2e(t)})\,\mathrm{d}t\,, \tag{19}$$

c) für $h_1 \neq 0,\ h_2 = 0$:

$$G(h_1,h_2) = \frac{1}{2\pi jh_1}\,\frac{1}{KT_0}\int_0^{KT_0}\mathrm{e}^{2\pi jh_1r(t)}(1 - e(t))\,\mathrm{d}t\,. \tag{20}$$

Zum Abschätzen der Integrale

$$\frac{1}{T}\int_0^T\left(r(t) - \frac{1}{2}\right)\mathrm{e}^{2\pi jh_2e(t)}\,\mathrm{d}t\,,\qquad \frac{1}{T}\int_0^T e(t)\,\mathrm{e}^{2\pi jh_1r(t)}\,\mathrm{d}t \tag{21}$$

verwende man die durch Abelsche Summation gewonnene Ungleichung

$$\left|x - \frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi j}\sum_{\substack{k=-K\\k\neq 0}}^{K}\frac{1}{k}\,\mathrm{e}^{2\pi jkx}\right| \leqq \frac{1}{K\pi\,|\sin\pi x|}\,,\qquad (0<x<1) \tag{22}$$

und erhält im ersten Fall für jedes positive $\varepsilon < \frac{1}{2}$ und für jedes $K \geqq 1$

$$\left|\frac{1}{T}\int_0^T\left(r(t) - \frac{1}{T}\mathrm{e}^{2\pi jh_2e(t)}\right)\mathrm{d}t\right| = \left|\frac{1}{T}\left(\int\limits_{\substack{0\\r(t)<\varepsilon}}^{T} + \int\limits_{\substack{0\\\varepsilon\leqq r(t)\leqq 1-\varepsilon}}^{T} + \int\limits_{\substack{0\\r(t)>1-\varepsilon}}^{T}\right)\right| \leqq$$

$$\leqq 2\varepsilon + 2D_T(r(t)) + \frac{1}{K\pi\sin\pi\varepsilon} +$$

$$+ \sum_{\substack{k=-K\\k\neq 0}}^{K}\frac{1}{2\pi|k|}\left|\frac{1}{T}\int\limits_{\substack{0\\\varepsilon\leqq r(t)\leqq 1-\varepsilon}}^{T}\mathrm{e}^{2\pi j(kr(t)+h_2e(t))}\,\mathrm{d}t\right| =$$

$$= O(\varepsilon) + O\left(\frac{1}{T}\right) + O\left(\frac{1}{K\varepsilon}\right) + O(\varepsilon\log K) + O(T^{-1/2}\log K) =$$

$$= O(T^{-1/2}\log T)\,, \tag{23}$$

wenn man schließlich $\varepsilon = T^{-1/2}$ und $K = [T]$ setzt. ($[x]$ ist die größte ganze Zahl $\leqq x$.) Mit einer ähnlichen Abschätzung unter Verwendung der Lipschitz-Stetigkeit der Verteilungsfunktion $F(y)$ von $e(t)$ erhält man im zweiten Fall

$$\frac{1}{T}\int_0^T e(t)\,\mathrm{e}^{2\pi jh_1r(t)}\,\mathrm{d}t = O(T^{-1/2}\log T)\,. \tag{24}$$

Setzt man nun alle Abschätzungen in die Ungleichung (16) ein, setzt $H = [T]$ und bedenkt, daß der Meßfehler zwischen zwei ganzzahligen Vielfachen von T_0, KT_0 und $(K + 1)\,T_0$, von der Größenordnung $O\left(\frac{1}{KT_0}\right)$ ist, erhält man insgesamt

$$\left|\frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} e(t)\,\mathrm{d}t - M_e(T)\right| \leqq C\,\frac{\log T}{\sqrt[4]{T}}\,, \tag{25}$$

wobei die Konstante C nur von der Periodendauer T_0 und der Lipschitz-Konstanten M abhängt.

Etwas einfacher sind die Verhältnisse, wenn das Eingangssignal $e(t)$ eine periodische Sprungfunktion ist. Man beachte, daß die Verteilungsfunktion $F(y)$ in diesem Fall als Treppenfunktion nicht stetig ist. Als $r(t)$ verwende man wieder t^2 (mod 1). Es sei $e(t)$ durch die periodische Fortsetzung von

$$\begin{aligned} e^*(t) &= e_k \quad\text{für}\quad t_k \leqq t < t_{k+1}\,,\\ &\quad k = 0, 1, \ldots, n-1\\ &\quad 0 = t_0 < t_1 < \ldots < t_n = T_0 \end{aligned} \tag{26}$$

beschrieben.

Sei weiterhin $r_k(t)$ jene Funktion, die durch Zusammensetzung der Funktionsstücke

$$\begin{aligned} t^2\ (\mathrm{mod}\ 1)\quad\text{für}\quad & t_k + mT_0 \leqq t < t_{k+1} + mT_0\,,\\ & m = 0, 1, \ldots \end{aligned} \tag{27}$$

entsteht, dann gilt für monotone $f(x)$ (siehe [1]) wegen

$$\left|\int_a^b \mathrm{e}^{jf(t)}\,\mathrm{d}t\right| \leqq 2\cdot\left(\min_{a\leqq x\leqq b}|f'(x)|\right)^{-1} \tag{28}$$

und der Ungleichung von ERDÖS-TURAN, wenn man für $H = [T/T_0]$ setzt,

$$D_T(r_k(t)) = O\left(\frac{1}{H} + \frac{1}{T}\sum_{h=1}^{H}\frac{1}{h}\sum_{m=0}^{[T/T_0]}\left|\int_{t_k+mT_0}^{t_{k+1}+mT_0}\mathrm{e}^{2\pi jht^2}\,\mathrm{d}t\right|\right)$$

$$= O\left(\frac{\log T}{T}\right). \tag{29}$$

Daraus folgt aber unmittelbar

$$\left|\frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} e(t)\,\mathrm{d}t - M_e(T)\right| \leqq C\,\frac{\log T}{T}\,, \tag{30}$$

wobei die Konstante C nur von T_0 und der Anzahl n der Sprungstellen je Periode abhängt.

Eine einfache Anwendung ist die stochastisch-ergodische Additionsschaltung nach Bild 2. Der Schalter S wird immer in konstanten Zeitabständen umgeschaltet. Das resultierende Eingangssignal ist somit eine Rechtecksfunktion mit dem Mittelwert $(E_1 + E_2)/2$.

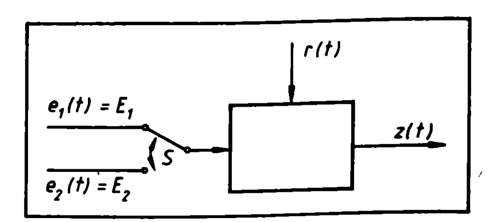


Bild 2. Summationsschaltung

2.2. *Mittelwert von nichtperiodischen, treppenförmigen Signalen*

Im folgenden wird das Referenzsignal als gleichmäßig gleichverteilt mit gleichmäßiger Diskrepanz $\tilde{D}_T(r(t))$ vorausgesetzt. Das Eingangssignal $e(t)$ sei treppenförmig mit Sprungstellen $t_0 = 0 < t_1 < t_2 \ldots$,

$$e(t) = e_k \quad \text{für} \quad t_k \leqq t < t_{k+1}\,, \tag{31}$$

und $N(t)$ sei die Anzahl der Sprungstellen $t_k \leqq t$. Dann gilt

$$\left| M_e(T) - \frac{1}{T}\int_0^T e(t)\,dt \right| \leqq \frac{1}{T}\sum_{0<t_k\leqq T} \left| \int_{t_{k-1}}^{t_k} (I_{e_{k-1}}(r(t)) - e_{k-1})\,dt \right| +$$

$$+ \left| \frac{1}{T}\int_{t_k}^{T} (I_{e_k}(r(t)) - e_k)\,dt \right| \leqq$$

$$\leqq \frac{1}{T}\sum_{0<t_k\leqq T} (t_k - t_{k-1})\,\tilde{D}_{t_k - t_{k-1}}(r(t + t_{k-1})) +$$

$$+ \frac{T - t_k}{T}\,\tilde{D}_{T-t_k}(r(t + t_k))\,. \tag{32}$$

Nun wird vorausgesetzt, daß (mit einer Konstanten $C \geqq 1$)

$$T\tilde{D}_T(r(t)) \leqq C \tag{33}$$

gilt. Somit erhält man aus der obigen Abschätzung

$$\left| M_e(T) - \frac{1}{T}\int_0^T e(t)\,dt \right| \leqq C\,\frac{N(T) + 1}{T}\,. \tag{34}$$

Als Beispiel für solche Signale $e(t)$ sei der Ausgang eines DAC (Digital-Analog-Konverters) genannt. Bei einem Ausklingvorgang ist sicher

$$\lim_{T\to\infty} \frac{N(T)}{T} = 0 \tag{35}$$

erfüllt, also strebt $M_e(T)$ gegen den Mittelwert von $e(t)$.

2.3. *Produktbildung und Effektivwert*

Eine wichtige Anwendung des SEM ist, daß auch nichtlineare Operationen, wie die Produktbildung (Bild 3), durchgeführt werden können. Dafür benötigt man allerdings zwei unabhängige, ergodische Referenzsignale $r_1(t)$, $r_2(t)$.

Betrachtet man wieder konstante Eingangssignale $e_1(t) = E_1$, $e_2(t) = E_2$, so ist der Meßwert von $z(t) = z_{e_1}(t) \cdot z_{e_2}(t)$ gerade

$$M_{e_1e_2}(T) = \frac{1}{T}\int_0^T I_{E_1}(r_1(t)) \cdot I_{E_2}(r_2(t))\,dt\,. \tag{36}$$

Wegen der Unabhängigkeit von $r_1(t)$ und $r_2(t)$ konvergiert $M_{e_1e_2}(T)$ gegen das Produkt $E_1 \cdot E_2$. Wieder kann man die Unabhängigkeit und Ergodizität deterministisch fassen, indem man die Diskrepanz

$$D_T(r_1(t), r_2(t)) = \sup_{E_1, E_2} \left| \frac{1}{T}\int_0^T I_{E_1}(r_1(t)) \cdot I_{E_2}(r_2(t))\,dt - E_1 \cdot E_2 \right| \tag{37}$$

einführt und verlangt, daß sie gegen Null konvergiert. Als Beispiele für solche unabhängig-gleichverteilte Referenzsignale seien erwähnt:

$$r_1(t) = a_1 t \pmod 1\,, \quad r_2(t) = a_2 t \pmod 1\,,$$

$$a_1/a_2 \quad \text{irrational} \tag{38}$$

$$r_1(t) = t \pmod 1\,, \quad r_2(t) = t^2 \pmod 1\,. \tag{39}$$

Im ersten Fall können genaue Diskrepanzabschätzungen angegeben werden, die von den arithmetischen Eigenschaften der Irrationalzahl a_1/a_2 abhängen. Im zweiten Fall gilt [4]

$$D_T(t, t^2) \leqq \frac{3 + \log T}{T}\,. \tag{40}$$

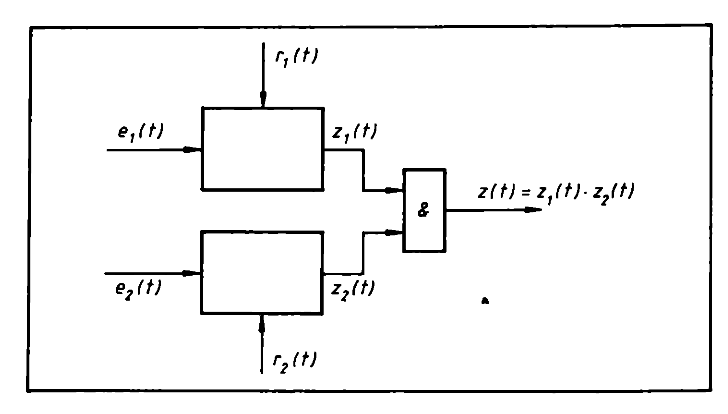


Bild 3. Produktschaltung

Das zweite Beispiel kann auch dahingehend verallgemeinert werden, daß man statt t und t^2 zwei Polynome verschiedenen Grades verwendet.

Setzt man $E_1 = E_2 = E$, so kann man jetzt auch das Quadrat einer Eingangsgröße bestimmen. Kombiniert man dies mit dem Prinzip der Mittelwertbestimmung periodischer Signale, gelangt man direkt zu einer Effektivwertmeßmethode. Um wieder sicherzustellen, daß das Eingangssignal keinen prinzipiellen Meßfehler verursachen kann, muß man hier fordern, daß für alle ganzen Zahlen h_1, h_2 mit $\max(|h_1|, |h_2|) > 0$ und für alle ganzzahligen Vielfachen der Periodendauer T_0 das Differenzsignal

$$h_1(r_1(t + kT_0) - r_1(t)) + h_2(r_2(t + kT_0) - r_2(t)) \pmod 1 \tag{41}$$

gleichverteilt ist. Dies ist etwa bei $r_1(t) = t^2 \pmod 1$, $r_2(t) = t^3 \pmod 1$ der Fall. Durch ähnliche, nur etwas längere Überlegungen wie vorher, gelangt man zur quantitativen Abschätzung

$$\left| \frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} e^2(t)\,dt - M_{e_1e_2}(T) \right| \leqq C\,\frac{\log T}{\sqrt[6]{T}}\,, \tag{42}$$

wobei die Konstante C wieder nur von der Periodendauer T_0 und der Lipschitz-Konstanten M der Verteilungsfunktion $F(y)$ von $e(t)$ abhängt. Bei periodischen Treppenfunktionen erhält man wieder eine bessere Abschätzung, nämlich

$$\left| \frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} e^2(t)\,dt - M_{e_1e_2}(T) \right| \leqq C\,\frac{\log T}{T}\,. \tag{43}$$

Schlußbemerkung: Der erstgenannte Autor konnte im November 1988 in einem Vortrag am Zentrum für Praktische Mathematik (Kaiserslautern—Darmstadt/BRD) darstellen, daß sich in (25) und (42) die Größenordnungen zu $T^{-1/2}$ bzw. $T^{-1/3}$ verbessern lassen.

Zusammenfassung

Das Prinzip des SEM wird meistens nur stochastisch interpretiert, und daraus wird der zu erwartende mittlere Meßfehler abgeleitet. In diesem Beitrag wird davon abgegangen, und der maximale Meßfehler, die sogenannte Diskrepanz des Referenzsignals, wird explizit abgeschätzt.

Es wird dargestellt, unter welchen Bedingungen periodische Störsignale tatsächlich unterdrückt werden und wie sich diese Störungen auf den maximalen Meßfehler auswirken. Gleichzeitig führt dies zu einer Methode der Mittelwertbestimmung periodischer Signale.

Außerdem wird die Messung der Summe und des Produktes zweier Eingangsgrößen untersucht. Durch die Kombination der Produktbildung mit der Messung von Mittelwerten erhält man schließlich auch eine Abschätzung für den Meßfehler bei der Messung des Effektivwertes eines periodischen Signals. Besondere Aufmerksamkeit wird auch der Messung des Mittelwertes von treppenförmigen Signalen geschenkt.

(Fortsetzung auf Seite 113)

R. Müller

Bemerkungen zur automatisierungsgerechten Stellkonzeption — Voraussetzung jeder Automatisierung[1)]

0. Einleitung

Es ist selbstverständlich, daß Automatisierung immer aus den Kategorien Informationserfassung (Meßtechnik) — Informationsverarbeitung — Informationsnutzung (Stelltechnik) besteht.[2)] Dabei ist allgemein akzeptiert, daß man nur automatisieren kann, was meßtechnisch erfaßbar ist (z. B. bei der Zeitplansteuerung ist das schon nicht mehr eindeutig). Jede Automatisierung braucht Informationen über Zielgrößen und über den Zustand des zu steuernden Objektes. Dazu müssen sich die interessierenden Variablen geeignet auf meßbare abbilden lassen. Konsequenterweise gilt die Meßtechnik als Querschnittsdisziplin. Nicht gleichermaßen akzeptiert ist, daß das Stellprinzip, mit dem in den zu automatisierenden Prozeß einzugreifen ist, automatisierungsgerecht sein muß. Wegen der schwierigen Abgrenzung zur Mechanisierung verbleibt aber die Gestaltung der Stelltechnik nahezu völlig in der Verantwortung des Verfahrenstechnologen. Damit ist nicht gesichert, daß Betrachtungen zur Gestaltung des Stelleingriffs unter dem Blickwinkel der Automatisierung angestellt werden. Dementsprechend ist die Problematik des Stelleingriffs auch noch nicht umfassend verallgemeinert, so daß man bisher kein geschlossenes Lösungskonzept darlegen kann. Der Beitrag stellt sich die Aufgabe, einiges in Richtung zu einem solchen Lösungskonzept zusammenzutragen.

Automatisierung setzt mehr oder weniger vorhandene Mechanisierung voraus, die oft gerade automatisierbare Stelleingriffe beinhaltet.

Soll beispielsweise das Kehren der Straße mechanisiert werden, so wird kein Gelenkmechanismus konstruiert, der in Nachahmung eines Menschen einen Besen hin und her führt. Der Übergang zur rotierenden „Besenwalze“ ist nahezu selbstverständlich. Zum Beispiel bei der Automatisierung von Schlachthofprozessen (Abstechen der Tiere) oder metallurgischen Prozessen ist es dagegen nicht gleichermaßen selbstverständlich, daß eine automatisierungsgerechte Stelltechnik entwickelt werden muß, da die Automatisierung der vorherigen „Hand“-Technologie von vornherein Effektivität verschenkt.

Um die Problematik zu verdeutlichen, wird mit Bild 1 ein übertriebenes Beispiel einer nicht automatisierungsgerechten Mechanisierung dargestellt. Bild 2 zeigt die dafür „normale“ Lösung. An dieser Stelle wird ein weiteres Problem sichtbar. Bei vielen Stell-

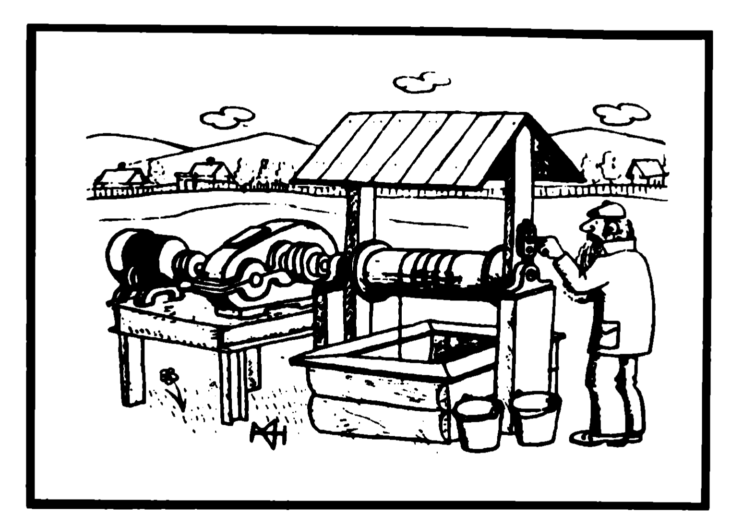


Bild 1. Abschreckendes Beispiel einer nicht automatisierungsgerechten Mechanisierung
Nach: izobretatel i racionalizator, Moskva (1975) 3, S. 49.

aufgaben laufen Regelung und (ggf. übergeordnete) Binärsteuerung zusammen. Im Bild 2 ist das erkennbar. Eine Kreiselpumpe muß gegen die geschlossene Armatur anlaufen. Es ist keineswegs selbstverständlich, daß die Regelaufgabe (PC) mit stetiger Drosselregelung erfolgt. Für viele Zwecke ist eine Zweipunktregelung mit Ein- und Ausschalten der Pumpe vorteilhaft bzw. ausreichend. Im Falle einer Kreiselpumpe ist dabei jedesmal die Absperrarmatur auf der Druckseite der Pumpe mit zu steuern.

1. Wahl der Prozeßführungsstrategie

Eine Stellkonzeption enthält i. allg. mehrere Ebenen. Die oberste Ebene ist die der Prozeßführung. Es gibt dafür wenig verallgemeinerbare Beispiele. Vor einigen Jahrzehnten wurde die Leistungsanpassung im Dampfkraftwerk in der Literatur diskutiert. Bild 3 zeigt die beiden typischen Alternativen. Trotz Wirkungsgradvorteilen der Gleitdruckfahrweise hat sich aus Gründen der Dynamik beim Stellvorgang die Festdruckfahrweise mit gestelltem Dampfstrom durchgesetzt.

2. Stelleingriff in Fließgutprozessen

Für die Basisautomatisierung in diesem Anwendungsgebiet dominiert der stetige Stelleingriff über Drosselventile. Es ist allgemein akzeptiert, daß zwei wesentliche Kriterien zu erfüllen sind, nämlich

— ausreichender Anteil Druckverlust im Stellglied (statische Kennlinien)



[1)] Erweiterte Fassung eines Vortrags zur Fachtagung Automatisierung der TU Dresden, Februar 1988

[2)] Bei Binärsteuerungen werden Schwellwerte und Zeiten gemessen.

Prof. Dr. sc. techn. RAINER MÜLLER (55) studierte von 1952 bis 1957 Wärmetechnik an der TH Dresden. Anschließend bis 1961 Entwicklungsingenieur im VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow und von 1961 bis 1965 wissenschaftlicher Mitarbeiter im VEB Energieprojektierung Berlin. Von 1965 bis 1968 wissenschaftlicher Mitarbeiter und von 1968 bis 1972 Dozent an der Sektion TBK der TH Ilmenau. 1967 Promotion A an der TU Dresden. Von 1972 bis 1974 Leiter des WB Technische Kybernetik der Sektion Technologie der FSU Jena. 1974 Promotion B an der TH „Otto von Guericke“ Magdeburg. 1974 Berufung zum o. Professor für die Projektierung von Automatisierungsanlagen an die damalige IH, heute TH Leipzig. Dort seither Leiter des WB Projektierung von Automatisierungsanlagen. Vorstandsmitglied und Vorsitzender des FA „Projektierung“ der WGMA.

(Fortsetzung von Seite 112)

Literatur

[1] DRMOTA, M.: Gleichverteilte Funktionen auf Mannigfaltigkeiten. Dissertation, Technische Universität Wien 1986.
[2] HLAWKA, E.: Über C-Gleichverteilung. Ann. Mat. Pura Appl. (IV) 49 (1960) pp. 311—366.
[3] HLAWKA, E.: Theorie der Gleichverteilung. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliografisches Institut 1979.
[4] MÜLLER, W.: C-Gleichverteilung Modulo 1. Diplomarbeit, Technische Universität Wien 1983.
[5] NIEDERREITER, H.; PHILIPP, W.: Berry-Essen Bounds and a Theorem of Erdös and Turan on Uniform Distribution Mod 1. Duke Math. J. 40 (1973) pp. 633—649.
[6] WEHRMANN, W.: Einführung in die stochastisch-ergodische Impulstechnik. Wien/München: R. Oldenburg Verlag 1973. msr 8803

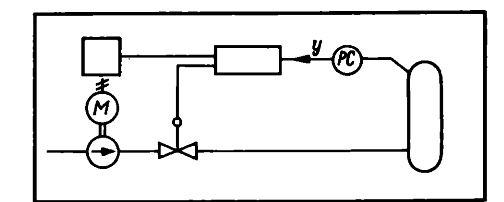


Bild 2.
Typische Lösung für das Stellen eines Durchflusses

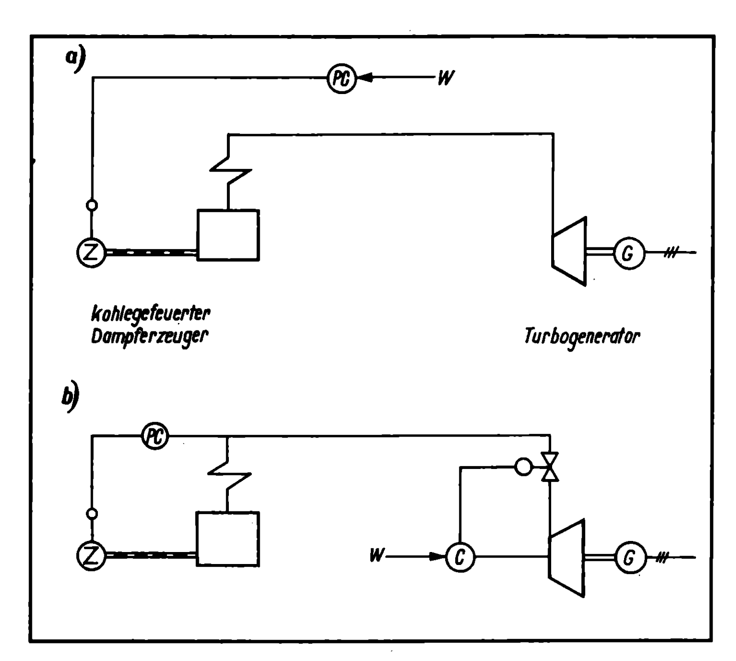


Bild 3. Prozeßführungsstrategie für das Dampfkraftwerk
a) Gleitdruckfahrweise; b) Festdruckfahrweise

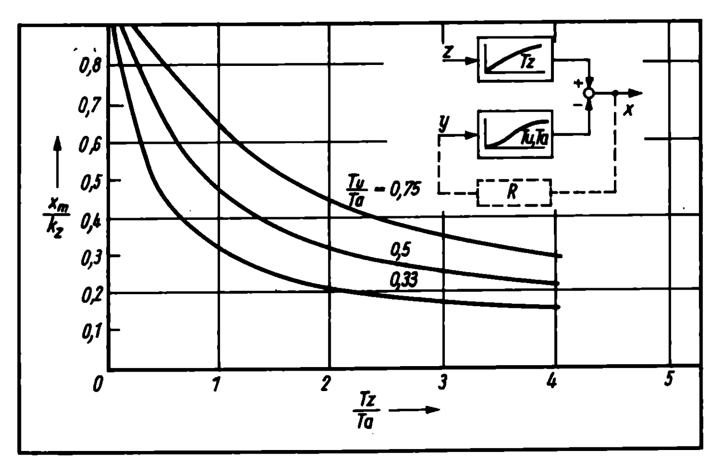


Bild 4. Maximale Regelabweichung, abhängig von der Relation Stör-/Stelldynamik

— Verzögerung in der Stellübertragungsfunktion möglichst geringer als in der Störübertragungsfunktion (Stelleingriff „schneller" als Störungsauswirkung wegen vorübergehender Regelabweichung).

Diese beiden Fragen sind seit langem in der Literatur ausführlich behandelt, z. B. [3] und [4]. Bild 4 zeigt für einfache einschleifige Regelungen die Zusammenhänge. In der „klassischen" Regelungstechnik entspricht der Störfall „am Streckeneingang" $T_z/T_a = 1$ und „am Streckenausgang" $T_z/T_a = 0$. Bild 4 geht davon aus, daß bei vielen Prozessen wegen Rauschens auf den Signalen nennenswerter Vorhalt nicht möglich ist.
Schon bei der Entscheidung zwischen dampfseitigem oder kondensatseitigem Stelleingriff in die Beheizung eines mit kondensierendem Dampf beheizten wärmetechnischen Apparates kommt man in einen Konflikt zwischen diesen beiden Teilzielen und kann keinen so allgemeinen Lehrsatz mehr formulieren (z. B. [5]).

Betrachtet man zusätzlich Transporteinrichtungen für Schüttgüter, so kommt als Zielstellung für den automatisierbaren Stelleingriff hinzu

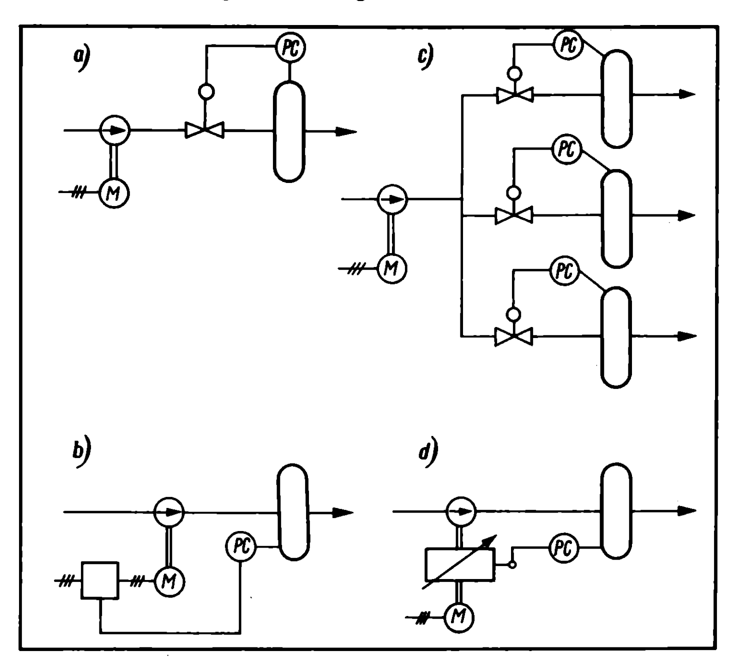
— keine zusätzliche Laufzeit der gestellten Födereinrichtungen (Stelleingriff „schneller" als Störungsauswirkung).

Bei Transportbändern und Trogkettenförderern ist damit die Schichthöhe als Stellgröße auszuschließen.
Bild 5 zeigt typische Varianten des stetigen Stelleingriffs unter Weglassen der Anfahrsteuerelemente. Mit der Entwicklung der Leistungselektronik gewinnt der drehzahlstellbare elektrische Antrieb (Bild 5b) immer mehr an Bedeutung.
Dorn/Engelter [6] machten eine aktuelle Kostengegenüberstellung. Bei mittleren Leistungen sind trotz Preisdegression der Leistungselektronik heute noch die Anlagekosten des Drehzahlstellsystems bedeutend und überwiegend gegenüber der Energieeinbuße bei der Drosselregelung. Unabhängig von dieser Entwicklung bleibt die Verzweigung nach einer Pumpe eine Aufgabe für die Drosselregelung (Bild 5c). Besonders für große Leistungen hat die Drehzahlverstellung über Kupplungen oder Getriebe (z. B. hydrodynamisch) Bedeutung. Die Speichervorgänge, z. B. in einem hydrodynamischen Getriebe, bringen Zusatzzeitkonstanten in den Stellkanal, so daß oft eine Hilfsstellgröße unerläßlich ist. Bild 6 zeigt die typische Schaltung für die elektrisch angetriebene Speisewasserzufuhr an Großdampferzeugern.
Die Entscheidung zwischen Drossel- und Drehzahlregelung läßt sich nicht einfach verallgemeinern. In [6] wird sogar ausdrücklich vor Generalisierungen gewarnt. Trotzdem bleibt für den praktisch tätigen Projektanten der Wunsch nach Orientierungswerten wichtig. Deshalb soll hier versucht werden, trotz Kenntnis der Problematik und Unsicherheit solcher Richtwerte, eine grobe Orientierung zu geben:

— ausschließlich Drosselstelleingriff bei Leistungen < 10 kW und bei Leitungsverzweigungen
— Prüfen des Drehzahlstellens über Leistungselektronik für Leistungen von 10 ... 200 kW
— Drehzahlstellen über hydrodynamische Kupplungen für Leistungen > 200 kW.

Der Bezug auf die Pumpenleistung ist sehr grob, da unterschiedlicher Anteil statischen Gegendrucks die Aussagen beeinflußt. Die Leistung ist nicht das einzige Kriterium. Hohe Werkstoffansprüche

Bild 5. Durchflußstellprinzipien
a) Drosselregelung; b) Drehzahlregelung; c) Drosselregelung verzweigter Ströme; d) Drehzahlregelung über Getriebe oder Kupplung
Leitschaufelverstellung nicht mit dargestellt.



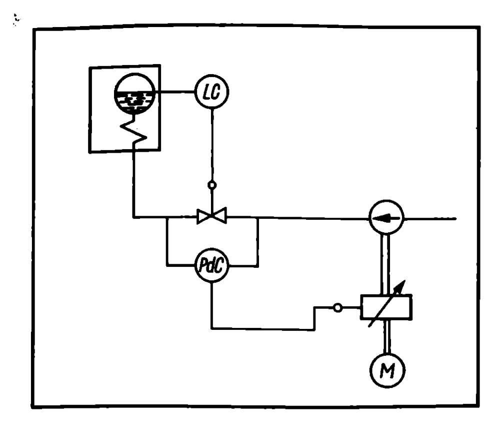


Bild 6.
Typische Schaltung zur Drehzahlregelung mit Hilfsstellgröße (Speisewasserregelung am Dampferzeuger)

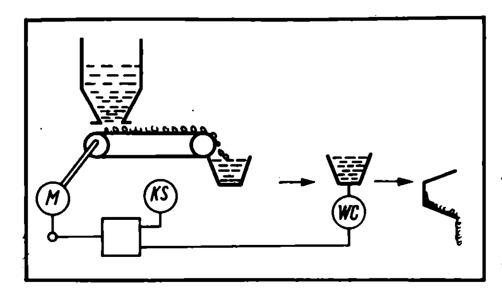


Bild 7.
Unstetige volumetrische Zuteilung von Schüttgut mit Korrektur nach Wägung im jeweils folgenden Takt
Transporteinrichtung zum Wiegebehälter zeit- oder niveauabhängig gesteuert

(hochlegierte korrosionsfeste Stähle) verschieben die Verhältnisse durch die höheren Armaturenkosten zugunsten des Drehzahlstellens. Bei hohem statischen Gegendruck führt das Drehzahlstellen auf Kennlinien- und andere Probleme, auch deshalb werden dann Hilfsstellgrößen bzw. Hilfskreise nach Bild 6 benutzt.

3. Konfigurierbarkeit der technologischen Anlage durch Stelleingriffe

Bei komplizierten Anlagen ist es oft möglich, die einzelnen Apparate unterschiedlich zusammenzuschalten. Die Vielzahl der Absperrorgane belastet den Anlagenfahrer. Es ist möglich, Gruppen von Stellorganen so zusammenzufassen, daß der Anlagenfahrer die Betriebsweise sozusagen über „Funktionstasten" aufrufen kann. Der Stelleingriff ist ein Tupel binärer Stellgliedstellungen. Dabei ist eine Entwurfsoptimierung der Anzahl der notwendigen Schaltelemente möglich. Ein instruktives Beispiel für eine derartige Stellkonzeption wird in [7] geschildert.

4. Diskontinuierliche Fließgutprozesse

Bei diskontinuierlichen Fließgutprozessen kommen als Automatisierungsprobleme Stellvorgänge zum Dosieren hinzu. Auch hier sind transportbedingte Laufzeiten eine Beschränkung für die erreichbaren Ergebnisse. GROLL [8] beschreibt einen typischen Fall, wie die gesamte Automatisierungskonzeption von einer entsprechenden Veränderung der Technologie abhängt, d. h. eine andere technologische Variable als Stellgröße gewählt werden muß.

5. Stückgutprozesse

Bei den meisten Bearbeitungs- und Verarbeitungsprozessen, z. B. der metallverarbeitenden Industrie, werden Technologie und Automatisierung als Einheit bearbeitet. Die speziellen Probleme sind nicht Gegenstand der arbeitsteiligen Projektierung der Automatisierung und deshalb hier nicht weiter zu behandeln. Typische Automatisierungsaufgaben ergeben sich dagegen häufig in der Lebensmitteltechnik und in der Landwirtschaft beim Sortieren und Verpacken. In [9] bis [11] wird ein dafür typisches Problem anhand des Füllens von Kekspackungen beschrieben. Ein Mindestgewicht des Inhalts ist zu garantieren. Die während des Stellvorgangs noch in die Schachtel fallenden Kekse sind hinsichtlich der Abrechnung Verschwendung. Die Verbesserung der Meß- und Stelldynamik bringt eine Steigerung der abrechenbaren Produktion.

6. Rückführwirkungen

Seit Jahrzehnten wird das Verhalten stetiger Stellglieder durch Positioner und Hilfsregelgrößen, d. h. durch unterlagerte Regelkreise, verbessert. Mit der Einführung von Mikrorechnern in die Informationsverarbeitung werden vergleichbare Wirkungen auch für das getaktete Stellen von Schüttgütern (Massedosierung) möglich. Gewöhnlich kann man nach einer volumetrischen Dosierung genauer messen (wiegen) als stellen, z. B. infolge Nachlaufs der Stelleinrichtung. Damit ergibt sich folgende Verfahrensweise: Bei jedem Dosierhub wird die Mengenabweichung zwischen Zugeteiltem und Beabsichtigtem erfaßt und bis zum nächsten Zyklus gespeichert. Im nächsten Zyklus wird vor dem Zuteilvorgang diese Abweichung von der beabsichtigten Gutmenge abgezogen. Trotz des Zuteilfehlers im Einzeltakt wird damit der Mittelwertfehler des Stellsystems auf die Meßunsicherheit reduziert (Bild 7). Ein typisches Anwendungsbeispiel ist die individuelle Futterdosierung bei der intensiven Tierhaltung. Andere Anwendungen ergeben sich bei der Dosierung sehr kleiner Flüssigkeitsströme durch getaktete Stellventile [12]. Gegenüber dem kleinsten stetig stellbaren Durchfluß kann man damit mit dem gleichen Ventil den Durchfluß um etwa eine Dekade reduzieren.

7. Nebeneffekte bei der Wahl des Stellprinzips oder Stellortes

Beispielsweise bei großen Rauchgasgebläsen hat man sich zwischen Stelleingriff über Drallklappen oder Drehzahlverstellung zu entscheiden. Dabei wird häufig übersehen, daß die Entstaubung nie restlos erfolgt und die Gebläse auch zeitweise bei ausgefallener Entstaubung arbeiten müssen. Die Nennleistung muß so gewählt werden, daß die Feuerungen auch bei nennenswertem Falsch- oder Lecklufteinbruch oder bei Überlast arbeiten können, d. h., schon im normalen Vollastbetrieb der Anlage arbeitet das Gebläse weit im Teillastbereich. Die bei der Drehzahlverstellung dazu reduzierte Drehzahl vermindert ganz wesentlich den Verschleiß durch Flugasche. Diese Nebenbedingung verschiebt drastisch die Variantenauswahl (vgl. Bild 5). Bei Rohrleitungen für Flüssigkeiten ist es wegen der Kontinuitätsbedingung scheinbar belanglos, an welcher Stelle das Drosselventil als Stellglied eingebaut wird. Eine Nebenbedingung liefert ggf. die notwendige störungsfreie Rohrstrecke vor Meßblenden. Bei Flüssigkeiten nahe der Siedetemperatur (Kondensat), langen Leitungen und hoher Stellgeschwindigkeit kann die Druckabsenkung bei der Verzögerung einer langen Flüssigkeitssäule zur Kavitation führen. In der erwähnten Konstellation ist deshalb darauf zu achten, daß das Stellventil möglichst nahe am Ende der Leitung angeordnet wird.
Dieses Problem zeigt mögliche nachteilige Nebenwirkungen der angestrebten hohen Stellgeschwindigkeit. Der deutlichste Fall, bei dem die Koordinierung der Stellverzögerungen entscheidend ist, ist die Wassereinspritzung an Dampfreduzierstationen mit Sicherheitsfunktionen (Bypaßventile). Zur Vermeidung von Wärmespannungen in den Werkstoffen ist für die unverzögerte Kühlung bei Öffnen des Dampfstromes zu sorgen. Deshalb muß der temperaturabhängig gesteuerten Einspritzung ein schnellerer Stelleingriff überlagert werden, der die Meßverzögerung im Temperaturregelkreis umgeht. Dies ist z. B. durch eine mechanische Störgrößenaufschaltung von der Hubbewegung des Dampfventils möglich. J. MÜLLER hat den Zusammenhang zwischen Stellgeschwindigkeit und apparatetechnischen Konsequenzen in [13] untersucht.

Thesenartige Zusammenfassung

Aus den dargestellten Beispielen kann man folgende heuristische Aussagen ableiten:

- Die Stellkonzeption muß aus der Verfahrenstechnologie heraus entwickelt werden.
- Die Automatisierung muß auf einer automatisierungsgerechten Mechanisierung der Stelleingriffe aufbauen.
- Es wird ein hinreichend großer Stellbereich (ausreichende „Beschleunigungsreserve") benötigt.

- Die Übertragungsfunktion des Stellvorgangs soll möglichst frei von Laufzeit sein.
- Der Stellvorgang soll möglichst wenig Verzögerungen bzw. kleine Zeitkonstanten haben, d. h., die Stellwirkung soll möglichst nicht langsamer als die Störwirkung sein.
- Statisch effektive langsame Stellprinzipien erfordern Hilfsstelleingriffe.
- Aus Verschleiß und ähnlichem ergeben sich wesentliche Nebenbedingungen für die Wahl des Stellprinzips.
- Die Regelungen sind oft in Binärsteuerungen eingebettet, die Auf-Zu-Stellglieder sind in die Stellkonzeption einzubeziehen.

Literatur

[1] KABISCH, H.: Stromrichter und drehzahlverstellbare Antriebe der Prozeßautomatisierung. Elektrie, Berlin 42 (1988) 3, S. 85—90.

[2] BUDIG, P.-K.: Drehzahlvariable Drehstromantriebe. Elektrie, Berlin 39 (1985) 3, S. 100—108.

[3] Taschenbuch Maschinenbau, Bd. 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.

[4] MÜLLER, R.: Regelstrecken im Kraftwerk. Energietechnik 12 (1962) 4, S. 147—150 (gekürzt: msr, Berlin 6 (1963) 6, S. 253—255).

[5] MÜLLER, R.: Projektierung von Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.

[6] DORN, H.-J.; ENGELTER, E.: Drehzahlveränderbare Pumpenantriebe: Eine Alternative zu Stellventilen? atp 29 (1987) 6, S. 259—262.

[7] WOLF, J.; ENGSHUBER, M.: Festlegung der minimalen Anzahl von Steuerelementen für Transport- und Speicheranlagen. msr, Berlin 30 (1988) 4, S. 162—164.

[8] GROLL, O.: Rechnergestützte Optimierung der Arbeitsweise einer Brotteigteil- und Wirkmaschine unter automatisierungstechnischen Aspekten. msr, Berlin 30 (1988) 3, S. 101—104.

[9] RICHTER, W.; HAASE, K.-H.: Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Dosierwaagen. Wiss. Berichte der TH Leipzig (1978) 1, S. 23—27.

[10] HAASE, K.-H.: Anwendung automat. Wägetechnik in der Dauerbackwarenindustrie. Bäcker und Konditor 27 (1979) 4, S. 119—120.

[11] GERNGROSS, K.; HAASE, K.-H.: Mikroelektronik bei der sozialistischen Intensivierung im Industriezweig Dauerbackwaren. Bäcker und Konditor 30 (1982) 7, S. 213—214.

[12] MÜLLER, I.; GRECKSCH, K.: Stelleinrichtung für kleine Stoffströme. WP G05 D/292 42 10.

[13] MÜLLER, J.: Einbeziehung anlagen- und regelungstechnischer Erfordernisse zur Lösung von Stellaufgaben. Dissertation A, TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1973.

msr 8899

A. Wittmüß, R. Straubel

Interaktives Programmsystem REH zur mehrkriterialen rechnergestützten Entscheidungshilfe

0. Einleitung

Im allgemeinen wird jede Entscheidung über den Lösungsweg eines gegebenen Problems unter gleichzeitiger Berücksichtigung mehrerer Zielvorstellungen getroffen. Das gilt gleichermaßen für die Lösung einer (statischen) Konstruktionsaufgabe wie für die Erarbeitung einer Strategie zur Steuerung eines (dynamischen) Prozesses. Diese Zielvorstellungen widersprechen sich meist gegenseitig. So wird zwar ein maximaler Effekt durch die Lösung des gegebenen Problems angestrebt, aber gleichzeitig auch versucht, den Aufwand zur Erzielung dieses Effekts möglichst gering zu halten. Offensichtlich muß zwischen den Zielvorstellungen in jedem konkreten Fall in Abhängigkeit von der sog. subjektiven Präferenz des Entscheidungsträgers bezüglich der verschiedenen Ziele ein Kompromiß eingegangen werden.
So kann beispielsweise die Konstruktion des Profils eines Doppel-T-Trägers als Vektoroptimierungsproblem aufgefaßt werden:

$$\underset{u}{\text{opt}}\ Q_i(\boldsymbol{u}, \boldsymbol{p}) \qquad (i = 1, 2),$$

wobei beide Ziele Q_1 (Durchbiegung des Trägers) und Q_2 (Gewicht des Trägers) in Abhängigkeit von den „Steuervariablen" $\boldsymbol{u}$ (Dicken der senkrechten und waagerechten Teilstücke des Trägers) der gegebenen „externen Parameter" $\boldsymbol{p}$ (Außenabmessungen, wie Länge, Breite, Höhe, sowie Elastizitätsmoduls und Belastung des Trägers) zu minimieren sind.
Im folgenden wird das Programmsystem REH (Rechnergestützte Entscheidungs-Hilfe) vorgestellt, mit dem bei realen, komplexen (statischen und dynamischen) Problemen der Nutzer in der Phase der Entscheidungsvorbereitung weitgehend unterstützt werden kann.

1. Notwendige Subroutinen zur Benutzung des Entscheidungshilfesystems

Um das Programmsystem REH einsetzen zu können, wird eine Prozedur benötigt, in der das (Prozeß-)Modell des zu steuernden Systems abgebildet ist. Diese Prozedur muß für einen angebotenen Steuervektor dessen Zuverlässigkeit überprüfen und die zugehörigen Zielfunktionswerte bereitstellen. Das Modell kann statisch oder dynamisch sein.
Falls das Prozeßmodell von externen Parametern abhängt, wird eine weitere Prozedur verlangt. Diese soll die Eingabe, Protokollierung und Korrektur externer Parameter gestatten. Um dem Nutzer unnötigen Programmieraufwand zu ersparen, wurde eine Prozedur geschaffen, die ein derartiges Parametereingabeprogramm auf der Grundlage natürlichsprachiger Abfragen automatisch erzeugt.

2. Struktur des Programmsystems

Die verschiedenen Wünsche der Nutzer eines Entscheidungshilfssystems wurden in drei Klassen eingeteilt:

(1) Der Nutzer wünscht, einen Überblick über das (evtl. zeitliche) Verhalten seines Modells zu erhalten.
(2) Der Nutzer wünscht, die Realisierbarkeit gewisser Zielfunktionswerte zu überprüfen.
(3) Der Nutzer wünscht die Bestimmung einer optimal effizienten Steuerung [1] und [2] (entsprechend seiner subjektiven Präferenzstruktur).

Dr. rer. nat. ACHIM WITTMÜSS (46) studierte von 1967 bis 1972 Mathematik an der Universität Greifswald. Danach im Institut für Nachrichtentechnik Berlin tätig (Rechnergestützte Konstruktion). Seit 1978 am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR. 1986 Promotion A (Mehrkriterielle Entscheidungsvorbereitung).

Dr. sc. nat. REINHARD STRAUBEL (53) studierte von 1954 bis 1960 an der Universität Jena Physik. Anschließend in verschiedenen Instituten der AdW der DDR auf dem Gebiet der dynamischen magnetischen Informationsspeicherung tätig. Zu dieser Thematik 1965 Promotion A und 1969 Promotion B. Im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse seit 1977 Arbeiten zur rechnergestützten Entscheidungsvorbereitung. Wissenschaftlicher Abteilungsleiter.

Tafel. Spieltypen

Spieltyp	Steuervariable	Zeittakt						Spieler
		1 ...	2 ...	3 ...	4 ...	... $T-1$ ...	T	
I	1	○	○	○				Spieler 1
	2	○	○	○				Spieler 2
II	1	○	○	○				Spieler 1
	2	$\underline{\times}$	$\underline{\times}$	×				Rechner
III	1	○	○	○	×	×	×	Spieler 1
	2	×	×	×	×	×	×	Rechner

In Übereinstimmung mit diesen Klassen besteht das System REH aus drei Ebenen:

(1) Lernebene (Simulationsspiele)
(2) Testebene (Realisierung gewisser Targetwerte)
(3) Ebene zur Berechnung effizienter Steuerungen.

Diese drei Ebenen sollen im weiteren kurz beschrieben werden.

2.1. Lernebene

Hier sind drei verschiedene Typen von Simulationsspielen realisiert. Der erste Typ stellt eine einfache Simulation des modellierten Prozesses dar. Es können maximal 5 „Spieler" teilnehmen, denen disjunkte Teilmengen der Steuervariablen zugeordnet werden.
In jedem Zeittakt hat dann jeder Spieler die Möglichkeit, „seinen" Steuervariablen numerische Werte zuzuweisen. Nach vollständiger Eingabe der Werte für die Steuervariablen erfolgt die Berechnung der Modellwerte und die Anzeige der Resultate. Die Eingabe für jeden Zeittakt kann beliebig oft wiederholt werden.
Bei den beiden weiteren Spieltypen sind nur 2 Spieler zugelassen, wobei der zweite Spieler durch den Rechner repräsentiert wird.
Die Aufteilung der Steuervariablen muß wie beim ersten Spieltyp vorgenommen werden. Zusätzlich müssen dem Rechner eine oder mehrere Zielfunktionen zugeordnet werden. Der Rechner bestimmt dann die Werte „seiner" Steuervariablen durch Optimierung bezüglich der ihm zugeordneten Zielfunktionen, wobei sich beim Typ 2 die Optimalität jeweils nur auf den aktuellen Zeitabschnitt bezieht.
Demgegenüber erfolgt im Spieltyp 3 in jedem Zeittakt die Berechnung aller Steuervariablen des Rechners für den gesamten Planhorizont T und für alle Steuervariablen des Spielers, die bislang nicht von ihm mit Werten belegt sind. Damit ist insbesondere bei Planungen für große zeitliche Horizonte T ein unmittelbares Reagieren des Spielers durch Wiederholung der Eingaben möglich.
Zur Veranschaulichung sind in der Tafel die verschiedenen Spielregimes im dritten Zeittakt zusammengefaßt. Dabei werden nur zwei Spieler und zwei Komponenten des Steuervektors angenommen. Das Symbol ○ bedeutet Eingabe der Steuerung „per Hand", das Symbol × aktuelle Berechnung der Steuerung durch Optimierung in diesem Zeittakt und $\underline{\times}$ die Fixierung der bereits früher berechneten Steuervariablen.

2.2. Testebene

Falls der Nutzer den Wunsch hat, sich über untere und obere Schranken der „zulässigen" Werte aller Zielfunktionen zu informieren, steht ihm auf dieser Ebene eine Prozedur zur Verfügung, die den sogenannten „utopischen" oder „idealen" Punkt [2] und [1] berechnet. Das bedeutet, daß für alle Zielfunktionen nacheinander das individuelle Optimum und die sich gleichzeitig für alle anderen Zielfunktionen ergebenden Werte zu ermitteln sind.
Eine weitere Möglichkeit, die die Testebene dem Nutzer einräumt, besteht in der Überprüfung der Realisierbarkeit spezieller Zielfunktionswerte (Targets), die vom Nutzer festgelegt werden. Das heißt, es wird versucht, für vorgegebene Targetwerte der Zielfunktionen eine Steuerstrategie zu bestimmen, die diese Targetwerte (innerhalb einer vorgeschriebenen Genauigkeit $\varepsilon > 0$) realisiert. Falls für gewünschte Targetwerte keine zulässige Steuerstrategie bestimmt werden kann, wird dem Nutzer eine weitere Variante angeboten. In dieser Variante fungieren die vorgegebenen Targetwerte lediglich als untere oder obere Schranken für die Zielfunktionen. Es wird dann versucht, eine beliebige zulässige Steuerung für das beschränkte Problem zu berechnen.

2.3. Ebene zur Ermittlung effizienter Steuerungen

Im allgemeinen stellen die gewählten Targetwerte keine effiziente Steuerung dar. Deshalb kann der Nutzer in der dritten Ebene eine oder mehrere effiziente Steuerungen berechnen lassen.
Es sind drei unterschiedliche Prozeduren implementiert, die nach wachsendem Rechenzeitaufwand geordnet sind.
Es beginnt mit der **sequentiellen Rangfolgeoptimierung (SRO)** [3] bis [5], die den menschlichen Entscheidungsprozeß in einer sehr einfachen und klaren Weise simuliert.
Zur Nutzung dieser Methode ist es erforderlich, daß der Nutzer eine (zeitunabhängige) Rangfolge der Zielfunktionen entsprechend seiner subjektiven Präferenzstruktur angibt. Das bedeutet, bei n Zielfunktionen Q_i muß die für den Nutzer wichtigste Zielfunktion den Rang 1 erhalten, die zweitwichtigste Zielfunktion den Rang 2, usw. Das für den Nutzer „unwichtigste" Ziel erhält den Rang n. (Eine einmal gewählte Rangfolge kann bei erneuten Aufrufen der Prozedur beliebig abgeändert werden).
Die Methode beginnt mit der Optimierung der wichtigsten Zielfunktion:

$$\textit{Schritt 1:}\quad \max\{Q_1(\boldsymbol{u}): \boldsymbol{u} \in U\} \rightarrow \hat{Q}_1(\boldsymbol{u}^{*(1)})$$

Dieser Schritt kann weggelassen werden, wenn in der zweiten Ebene der utopische Punkt bereits berechnet wurde. Der Nutzer muß nun für die Zielfunktion Q_1 eine untere Schranke R_1 festlegen. Diese Schranke R_1 gibt an, welche Verschlechterung der Zielfunktion Q_1 der Nutzer schlimmstenfalls bei der Optimierung der restlichen Zielfunktionen akzeptiert. Im zweiten Optimierungsschritt startet die Berechnung mit der für das eben angegebene Optimierungsproblem zulässigen Steuerung $\boldsymbol{u}^{*(1)}$:

$$\textit{Schritt 2:}\quad \max\{Q_2(\boldsymbol{u}): \boldsymbol{u} \in U, Q_1(\boldsymbol{u}) \geqq R_1\} \rightarrow \hat{Q}_2(\boldsymbol{u}^{*(2)}).$$

Die Prozedur endet, wenn die n-te Zielfunktion bezüglich der $n-1$ zusätzlichen Nebenbedingungen optimiert wurde. Nach jedem Schritt $i \geqq 2$ hat der Nutzer die Möglichkeit, zwischen den folgenden Alternativen zu wählen:

(1) Änderung des Wertes R_{i-1} und Wiederholung des i-ten Optimierungsschrittes mit der geänderten Nebenbedingung
(2) Wahl eines Wertes R_i und Fortsetzung der Prozedur mit dem $(i+1)$-ten Optimierungsschritt.

Im allgemeinen liefert eine Prozedur der oben beschriebenen Art nur schwach effiziente Lösungen [5]. Darum wurden bei der SRO Modifikationen vorgenommen, die garantieren, daß das Ergebnis effizient ist [5]. Somit ist das Resultat der SRO eine effiziente Steuerung, die von der gewählten Rangfolge und dem Schrankenvektor $(R_1, \ldots, R_{n-1})$ abhängt.
Im Bild ist ein sehr einfaches Beispiel für diese Methode gezeigt. Das Beispiel ist durch drei nicht konkave bzw. nicht streng konkave Zielfunktionen $Q_1(\boldsymbol{u})$, $Q_2(\boldsymbol{u})$, $Q_3(\boldsymbol{u})$ charakterisiert.
Falls der Nutzer keine Rangfolge der Zielfunktionen formulieren kann, besteht die Möglichkeit, eine optimal effiziente Steuerung durch ein anderes sequentielles Verfahren zu erhalten, bei dem der Nutzer durch verbale Präferenzaussagen den Lösungsvorgang „steuern" kann. Diese Methode wird als **Relaxationsmethode** [6] bezeichnet. Sie verläuft folgendermaßen:

Schritt 1: Ausgehend von einer beliebigen zulässigen Steuerung wird ein effizienter Punkt $\boldsymbol{Q}^{(0)} = (Q_1^{(0)}, \ldots, Q_n^{(0)})$ berechnet.
Schritt 2: Der Vektor $\boldsymbol{Q}^{(0)}$ wird dem Nutzer zur Begutachtung vorgelegt. Wenn der Nutzer mit den erhaltenen Resultaten zufrieden ist, bricht das Verfahren ab. Anderenfalls muß er angeben, für welche Zielfunktionen er die Werte verbessern oder fixieren möchte und bei welchen Zielfunktionen er eine Verschlechterung der Werte zuläßt.

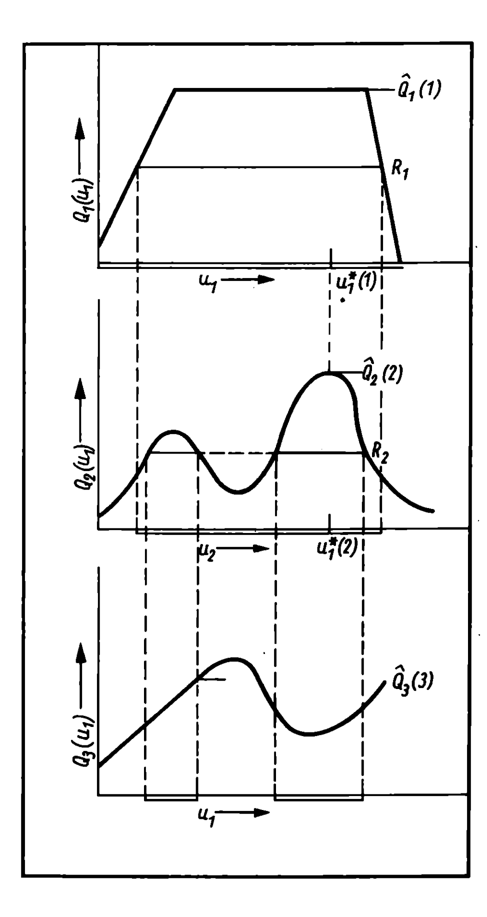


Bild. Beispiel für die sequentielle Rangfolgeoptimierung
═══ zulässiger Bereich der Steuervariablen u_1

Schritt 3: Unter Berücksichtigung der im Schritt 2 formulierten Forderungen des Nutzers wird ein neuer effizienter Punkt berechnet. Danach wird zum Schritt 2 zurückgesprungen.

Bei dem eben beschriebenen Verfahren kann sich der Nutzer sukzessive einem von ihm bevorzugten effizienten Punkt nähern. Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, daß der Nutzer nur verbale Präferenzaussagen treffen muß.
Die dritte Prozedur dieser Ebene dient der Berechnung einer möglichst dicht gepackten Teilmenge F_e der Menge der effizienten Punkte. Diese Prozedur ist sehr zeitaufwendig. Sie gestattet die Ermittlung einer gewünschten Anzahl von Punkten der effizienten Menge, wobei ein geforderter Mindestabstand zwischen den Punkten berücksichtigt wird.
Um den Nutzer bei der Auswahl eines Punktes aus der Menge F_e zu unterstützen, wurden einige Hilfsroutinen eingefügt. Diese Hilfsroutinen erlauben eine grafische Darstellung der Teilmenge F_e sowie eine „Fuzzy"-Auswahl eines Punktes F_e [11]. Des weiteren kann sich der Nutzer für Punkte aus der Menge F_e die zugehörige Steuerung auf der Testebene bestimmen lassen.

3. Implementierte skalare Optimierungsprozeduren

In den verschiedenen Ebenen des Entscheidungshilfssystems werden unterschiedliche skalare Optimierungsprozeduren benötigt. Im Prinzip wurden zwei Hauptprozeduren implementiert:

1. eine numerische Gradientenapproximation [7] für konvexe/konkave Probleme mit zusammenhängendem Steuerbereich
2. eine zufällige Suchprozedur, die auf der Idee der biologischen Evolution basiert [8] bis [10] für alle anderen Fälle.

Bedingt durch die Komplexität der Modelle ist es i. allg. nicht möglich, die mathematischen Charakteristika (Konvexität, Differenzierbarkeit bzw. Stetigkeit der Zielfunktionale, Zusammenhang des zulässigen Steuerbereichs usw.) zu ermitteln. Deshalb wird eine Hybridmethode benutzt, bei der das numerische Gradientenverfahren zur Suche eines lokalen Optimums dient, während das zufällige Suchverfahren die Bestimmung eines globalen Optimums unterstützen soll. Falls die Gradientenprozedur kein Ergebnis liefert, wird nur mit dem zufälligen Suchverfahren gearbeitet.

4. Anwendungen

Bislang wurde das beschriebene Entscheidungshilfssystem für die Lösung mehrerer statischer und dynamischer komplexer Probleme mit Steuerungen aus kontinuierlichen oder diskreten Wertebereichen angewendet. Es handelt sich dabei u. a. um optimal effiziente

- Konstruktionen von Fahrzeugbremssystemen ($n = 4$)
- dreidimensionale Steuerungen eines Roboterarmes ($n = 3$)
- Qualitätssteuerungen einer Glasproduktionswanne ($n = 4$)
- Planansätze für die Volkswirtschaft der DDR ($n = 3$)
- Rekonstruktionsfolgen von regional verteilten SO_2-Schadstoffemittenten ($n = 4$)
- Wasserqualitätssteuerung in Fließgewässern ($n = 3$)
- Investitionsentscheidungen für den Bau von Kläranlagen an Fließgewässern ($n = 3$)
- Parameterfittung von Meßdaten ($n = 5$).

In allen Fällen handelte es sich um nichtlineare Modelle, teilweise mit Zeitverzögerungen, mit bis zu 150 Steuervariablen.

Zusammenfassung

Es wird ein Programmsystem zur Entscheidungsvorbereitung mehrkriterialer statischer und dynamischer komplexer Probleme beschrieben, mit dem in Menütechnik

- interaktive Simulationsspiele (gegen den Rechner) durchgeführt
- Testrechnungen auf Zuverlässigkeit der vom Nutzer vorzugebenden Werte für die Zielfunktionen durchgeführt
- optimal effiziente Steuerungen unter Berücksichtigung der subjektiven Präferenzstruktur des Nutzers bezüglich der verschiedenen Zielfunktionale ermittelt

werden können.
Für die Anpassung von „Fremd"-Modellen an das Programmsystem stehen teilweise Prozeduren zur Verfügung, die im Nutzerdialog die erforderlichen Subroutinen automatisch programmieren.

Literatur

[1] Straubel, R.; Wittmüss, A.: Beschreibung eines Programmsystems REH zur rechnergestützten Entscheidungshilfe. ZKI-Informationen 2/86, Berlin 1986.
[2] Peschel, M.: Ingenieurtechnische Entscheidungen: Modellierung und Steuerung mit Hilfe der Polyoptimierung. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[3] Podinowski, W. W.; Gawrilow, W. M.: Optimizacija po posledovatelno primenjaemym kriterijam (Optimierung durch sequentielle Kriterien). Moskau: Soviet Radio 1975.
[4] Straubel, R.; Wittmüss, A.: Ein interaktives Entscheidungsmodell zur optimalen Steuerung eines Systems mit mehreren Zielfunktionen. msr, Berlin 26 (1983) 1, S. 2—4.
[5] Wittmüss, A.: Ein Programmsystem zur rechnergestützten Entscheidungsfindung bei makroökonomischen Planansatzrechnungen. ZKI der AdW, Berlin 1986.
[6] Wittmüss, A.: Scalarizing multiobjective optimization problems and an interactive approach for multiobjective decision making. In: Sydow, A., et al. (eds.): Systems Analysis and Simulation 1985, Teil I. Berlin: Akademie-Verlag 1985, pp. 255—258.
[7] Rosenmüller, R.: Ein Verfahren der Gradienten-Approximation im Rahmen der mehrkriterialen sequentiellen Rangfolgeoptimierung. 13. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik", Rostock 1984.
[8] Rechenberg, J.: Evolutionsstrategie. Stuttgart: Friedrich-Fromman-Verlag 1973.
[9] Schwefel, H. P.: Numerische Optimierung von Computermodellen mittels der Evolutionsstrategie. ISR 26. Basel/Stuttgart: Birkhäuser-Verlag 1977.
[10] Born, J.: ASTOP Handbook. ZKI der AdW, Berlin 1984.
[11] Böttner, R.: A fuzzy approach for the selection from a limited number of alternatives. In: Sydow, A., et al. (eds.): Systems Analysis and Simulation 1985. Teil I. Berlin: Akademie-Verlag 1985. pp. 259 to 262.
[12] Wittmüss, A.; Straubel, R.; Rosenmüller, R.: Interactive Multi-Criteria Decision Procedure for Macroeconomic Planning. SAMS 1 (1984) 5, pp. 411—424.
msr 8843

F.-G. Meier

SPS 7000 — eine neue Generation speicherprogrammierbarer Steuerungen

0. Einleitung

Die speicherprogrammierbare Steuerung ist zu einem wichtigen Element der Automatisierungstechnik geworden. Die steigenden Forderungen an Automatisierungssysteme bezüglich Funktionsumfang, Systemgrenzen, Leistungsaufnahme und Zuverlässigkeit stellen hohe Anforderungen an die eingesetzte Steuerungstechnik.
Die im VEB Numerik „Karl Marx" entwickelte speicherprogrammierbare Steuerung SPS 7000 schließt an ihre Vorgängertypen PS 2000, PC 600 und MRS 700 an.
Mit der SPS 7000 soll insbesondere für den Be- und Verarbeitungsmaschinensektor ein modulares speicherprogrammierbares Steuerungssystem bereitgestellt werden, das die bisherigen Steuerungseinrichtungen mit erweiterten Funktionsmerkmalen und verbesserten Gebrauchswerteigenschaften ablöst und die Einsatzmöglichkeit dieser Steuerungskategorie erweitert. Dabei stellt der dargestellte Funktionsumfang nur die 1. Ausbaustufe einer durchgängigen SPS-Linie dar, die zur Erfüllung der volkswirtschaftlichen Erfordernisse und im Hinblick auf die Mitbestimmung des internationalen Standes permanent zu erweitern ist.

1. Struktur der SPS 7000

Die SPS 7000 ist für den mittleren und höheren Leistungsbereich konzipiert (bis 2048 Ein-/Ausgänge) und modular aufgebaut. Dabei wird von folgenden Grundbedingungen ausgegangen:

— genormte Busstruktur, entsprechend SAK-N 316/01 und 02 [4]
— genormte Konstruktion, 19"-Baugruppeneinsatz gemäß TGL 37270, Leiterplatten in Mehrebenentechnik im Doppel-Europaformat
— genormte Schnittstellen zu peripheren Geräten (z. B. serieller Kanal RS 232c) sowohl elektrisch als auch konstruktiv.

Die mittleren und großen SPS zeichnen sich dadurch aus, daß sie umfangreiche Funktionen zur digitalen Verarbeitung von Informationen ausführen können.
Dieser Umstand stellt erhöhte Anforderungen, sowohl an die Hardware als auch an die Software, damit nicht durch diese komplexen Funktionen die Reaktionszeit der Steuerung stark ansteigt. Gegenwärtig stellt die Kopplung eines Mikroprozessors mit einem Logikprozessor eine brauchbare Lösung dar. In der SPS 7000 wird hierbei ein 16-bit-Mikroprozessor (K 1810 WM 86) mit einem speziellen Logikprozessor gekoppelt. Der Logikprozessor ist dabei für die Abarbeitung sämtlicher binärer Anweisungen verantwortlich, während der Mikroprozessor für alle darüberhinausgehenden Aufgaben eingesetzt wird.
Sämtliche Prozeßeingabe-/-ausgabebaugruppen (PEA) sind über den Systembus mit der Zentraleinheit verbunden. Damit ergibt sich für sie eine freie Steckplatzwahl. Die Adreßeinstellung erfolgt auf den PEA-Baugruppen selbst (Bild 1).
Die großen Ausbaustufen der Steuerung lassen sich nicht in einem Baugruppeneinsatz unterbringen. Für die SPS 7000 sind weitere 4 Baugruppeneinsätze als Erweiterung möglich. Vorgesehen sind sowohl eine linienförmige als auch eine sternförmige Busweiterleitung.
Angesprochen wurden schon die Erweiterung des Funktionsumfanges und die dabei auftretenden Probleme bezüglich der Reaktionszeit der Steuerung. Es muß also versucht werden, die zeitintensiven Operationen von der Zentraleinheit fernzuhalten und sie durch dezentrale (lokale) Prozessoren erledigen zu lassen. Der Zentralprozessor hat dann nur noch die Aufgaben der Synchronisation und des Datentransports zu übernehmen. Dieses Prinzip wird in der SPS 7000 konsequent durch Schaffung von Peripheriebaugruppen mit eigener Intelligenz für komplexe Funktionen und Ankopplung aller dieser Baugruppen über Dual-Port-Speicher (DPRAM) an den Systembus verfolgt. Damit lassen sich alle Aktionen des Zentralprozessors zur Peripherie hin sehr effektiv gestalten.
In der Zentraleinheit selbst sind der Wortprozessor und der Bitprozessor an den Residentbus angeschlossen und arbeiten dort mit dem Anwenderprogrammspeicher zusammen. Jeder der Prozessoren ist in der Lage, den Bus zu steuern. Bei der Busherrschaft des Logikprozessors ist es möglich, daß der Wortprozessor auf seinem Lokalbus und dem Systembus echte Parallelarbeit leistet.
Das Anwenderprogramm steht gemischt im Programmspeicher, d. h., Bitbefehle und Byte-/Wortbefehle sind nacheinander und nicht getrennt gespeichert. Durch den Operationskode wird festgestellt, welcher der beiden Prozessoren den anstehenden Befehl abarbeiten kann. Dieser Test des Operationskodes kann von beiden Prozessoren vorgenommen werden, und es wird nur umgeschaltet, wenn ein echter Prozessorwechsel vorgenommen werden muß.
Durch die Parallelarbeit ist es z. B. möglich, eine On-line-Diagnose in den Steuerzyklus einzubetten. Zu beachten sind dabei die Zeitunterschiede zwischen der Abarbeitung einer logischen Anweisung (1 µs) und der Realisierung von Routinen für den Wortprozessor aus vielen Befehlen (mindestens 800 ns/Befehl), denn der Mikroprozessor soll in erster Linie am Anwenderprogramm arbeiten.

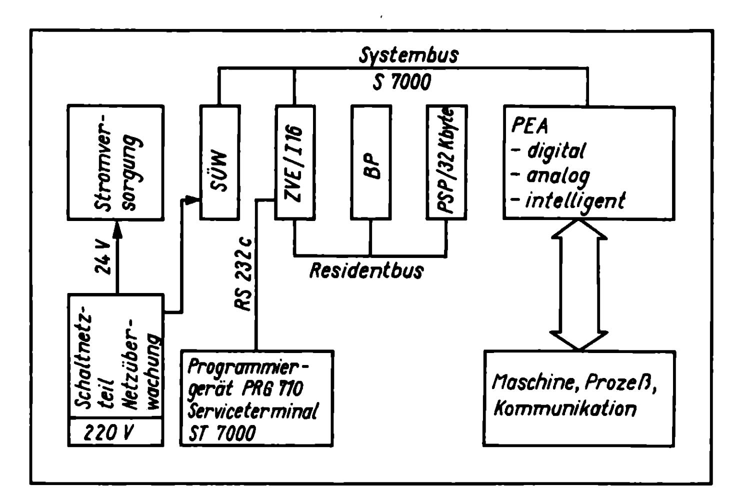


Bild 1. Struktur der SPS 7000

2. Technische Parameter der Steuerung

Die hauptsächlichen Parameter der Steuerung SPS 7000 sind in der Tafel zusammengefaßt.
Die genannten Variablen werden allgemein als logische bzw. binäre Variablen bezeichnet. Mit Ausnahme der Zeitglieder, der Zeitbefehle und der Zähler werden sie vom Bitprozessor abgearbeitet. Dabei beträgt die Abarbeitungszeit für eine logische Operation 1 µs (bei einem Speicherbedarf von einem Wort (2 byte)).
Darüber hinaus ist Byte- bzw. Wortverarbeitung möglich. Folgende Parameter sind aktuell:

— Eingänge, analog: max. 254 Kanäle ≙ 127 analoge Eingänge
— Ausgänge, analog: max. 254 Kanäle ≙ 127 analoge Ausgänge

Dipl.-Ing. FRANK-GÜNTER MEIER (35) studierte von 1976 bis 1981 Informationstechnik an der TH Karl-Marx-Stadt. Von 1981 bis 1986 Entwicklungsingenieur im VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt. Seither dort als Gruppenleiter F/E mit der Entwicklung von speicherprogrammierbaren Steuerungen betraut.

- gestützter Speicher für Byte-/Wortoperationen mit 2 Kbyte Speicherplatz
- Anzahl implementierbarer Funktionsbausteine zur Verarbeitung von byte-/wortorientierten Variablen: max. 128
- Anzahl der erfaßbaren schnellen Zählvorgänge (100 kHz): max. 16
- Kommunikationsschnittstellen zum Bediener oder anderen SPS über serielle Schnittstellen: max. 8
- Möglichkeit der Zerlegung des Anwenderprogramms in max. 20 Parallelprogramme.

Diese Operationen werden vom Wortprozessor ausgeführt bzw. organisiert. Der Speicherplatzbedarf für den Aufruf aus dem Anwenderprogramm umfaßt 1 Wort (2 byte) Operationskode und eventuell notwendige Parameter. Es ergibt sich damit ein sehr sparsamer Speicherplatzbedarf für das Anwenderprogramm, dessen Speicherplatzumfang mit 32 Kbyte trotzdem groß gehalten wurde. Als Programmiersprache kommt die Anweisungsliste (AL) zum Einsatz, Basis dafür ist [3]. In Vorbereitung sind Kontaktplan und Funktionsplan.

Tafel. Technische Parameter der SPS 7000

	Anzahl der Kanäle	Anzahl der Variablen
Adreßraum Bitprozessor aufgeteilt in:		4096
Eingänge, digital	max. 254	2032
Ausgänge, digital	max. 128	1024
Merker	max. 254	2032
Merkererweiterung	max. 254	2032
Haftmerker	max. 64	512
Fehlermerker	max. 64	512
Zeitglieder (für Kontaktplan, Boolesche Gleichung)		
TH (10 ms ... 10 min)		20
TS (1 s ... 16 h)		20
Zeitbefehle (*TI*, *TR*, *TE*, *TA* für ablauforientierte Programme)		20
Zähler		40

3. Baugruppenspektrum

Die Leiterplatten haben doppeltes Europaformat und sind in Mehrebenentechnik gefertigt. Die Frontseite ist mit einer metallischen Blende versehen, die eine galvanische Verbindung zum Baugruppenträger hat. Der Elektronikteil befindet sich somit im elektrisch abgeschirmten Raum, was zu einer Erhöhung der Störfestigkeit führt. Die Verbindung zum Rechnerbus erfolgt über einen 96poligen indirekten Streckverbinder und die Ankopplung der Prozeßsignale über einen 48poligen Prozeßsteckverbinder bzw. über Miniatur-Interfacesteckverbinder. Folgende bestückte Leiterplatten (BLP) kommen zum Einsatz:

- *Systemüberwachung SÜW*
  Überwachung grundlegender steuerungsinterner Signale, Zykluszeitüberwachung, Temperaturüberwachung und Betriebsbereitschaftsmeldung sowie Anzeige von Fehlern
- *Zentrale Verarbeitungseinheit ZVE I 16*
  16-bit-Mikroprozessor mit Peripherieschaltkreisen und Speicher (EPROM/RAM) für Firmware, serieller Kanal (RS 232c) zum Anschluß von Programmier-/Inbetriebnahmegeräten
- *Bitprozessor BP*
  Spezialprozessor zur Abarbeitung logischer Operationen (UND, ODER, ANTIVALENZ, Zuweisung) und von Sonderfunktionen (Sprünge, auch bedingt; Setzen, Rücksetzen von Variablen; Klammerfunktionen), Interface zur Busübernahme während seiner AKTIV-Phase
- *Programmspeicher EPROM 32 KB*
  BLP zur Speicherung des Anwenderprogramms, 16 Sockel zur Aufnahme von EPROM (2716) oder CMOS-RAM (U 6516)
  Der Einsatz von RAM-Schaltkreisen erfolgt nur während der Inbetriebnahme.
- *Programmspeicher CMOS 16 KB für Inbetriebnahme*
  Speicherbaugruppe zum Einsatz während der Inbetriebnahmephase
  Bei kleineren Steuerprogrammlängen genügt eine, sonst müssen 2 Baugruppen eingesetzt werden.
- *Digitale Eingabebaugruppe ED 1*
  Es dürfen 16 externe, voneinander potentialfreie Eingangssignale mit einer Nennspannung von 24 V DC oder 12 V DC angelegt werden. Die Eingänge können wahlweise plusschaltend oder minusschaltend (Initiatoren) verwendet werden.
- *Digitale Eingabebaugruppe ED 2*
  Die BLP dient zur Erfassung und Aufbereitung digitaler Prozeßinformationen mit einer Nennspannung von 24 V DC. Sie hat 32 Eingänge (4 Kanäle) mit einem gemeinsamen Bezugspotential.
- *Digitale Ausgabebaugruppe AD 1*
  16 digitale Ausgänge zu je 24 V DC, 400 mA mit gemeinsamen Bezugspotential
  Die Ausgänge sind kurzschlußfest und bei Kurzschluß erfolgt eine Meldung an die Zentraleinheit.
- *Digitale Ausgabebaugruppe AD 2*
  8 Ausgänge 24 V/2,2 A, kurzschlußfest, mit gemeinsamen Bezugspotential
  Besonderheit: Für eine Zeit bis 40 ms können die Ausgänge einen Strom von 5,6 A liefern, was für die Ansteuerung von induktiven bzw. kapazitiven Verbrauchern wichtig ist. Bei Kurzschluß wird ebenfalls eine Meldung an die Zentraleinheit ausgegeben.
- *Digitale Ausgabebaugruppe AD 3*
  Es handelt sich um eine Baugruppe mit 8 Ausgängen. Die Leistungsausgänge werden mit dem Relais GBR 12.3. realisiert. Damit ergeben sich folgende Parameter: Schaltspannung von 24 V bis 220 V AC/DC, Schaltstrom 2,5 A, Schmelzsicherung. Die Kontakte sind potentialfrei ausgeführt, d. h., sie haben kein gemeinsames Bezugspotential.
- *Digitale Ausgabebaugruppe AD 4*
  Die Baugruppe hat 16 Ausgänge (2 Kanäle), realisiert mit Relais RGT 13. Sie ist zum Schalten von kleinen Spannungen und Strömen (1 mV bis 30 V, 10 μA bis 400 mA) gedacht. Sie hat keinen Kurzschlußschutz.

Die bis hierher genannten BLP haben zwischen Prozeßteil und Logikkreis eine Potentialtrennung über Optokoppler und 4 mm-Luft- und Kriechstrecke.
Für Analogsignalverarbeitung stehen die folgenden Baugruppen zur Verfügung.

- *Analoge Eingabebaugruppe EA 1*
  Diese BLP verfügt über 16 analoge Eingänge, die mit einer Auflösung von 10 bit gewandelt werden. Als Besonderheit kann man 4 Eingänge als Differenzeingänge mit einstellbarer Verstärkung (0,5fach bis 250fach) konfigurieren. Der Eingangsspannungsbereich ist dann ±10 V, sonst ±5 V. Die Modifizierung als Stromeingänge ±20 mA ist vorgesehen.
- *Analoge Ausgabebaugruppe AA 1*
  Es stehen 4 analoge Ausgänge mit 12 bit Auflösung zur Verfügung. Die Signalkonfigurationen sind einstellbar: ±5 V, ±10 V, ±20 mA. Die analogen Baugruppen haben beim gegenwärtigen Stand keine Potentialtrennung.

Folgende intelligente Baugruppen sind bisher im System enthalten:

- *Eingangsbaugruppe Schneller Zähler EZ 1*
  Hardware-Zähler mit einer Grenzzählfrequenz von 100 kHz
  Je Baugruppe sind 2 Zählkanäle zu je 32 bit verfügbar. Ansteuerbar ist der Zähler durch 24V-Eingangssignale bzw., es ist der Anschluß von IGR D oder E möglich. Damit kann man einfache Abschaltachsen realisieren.

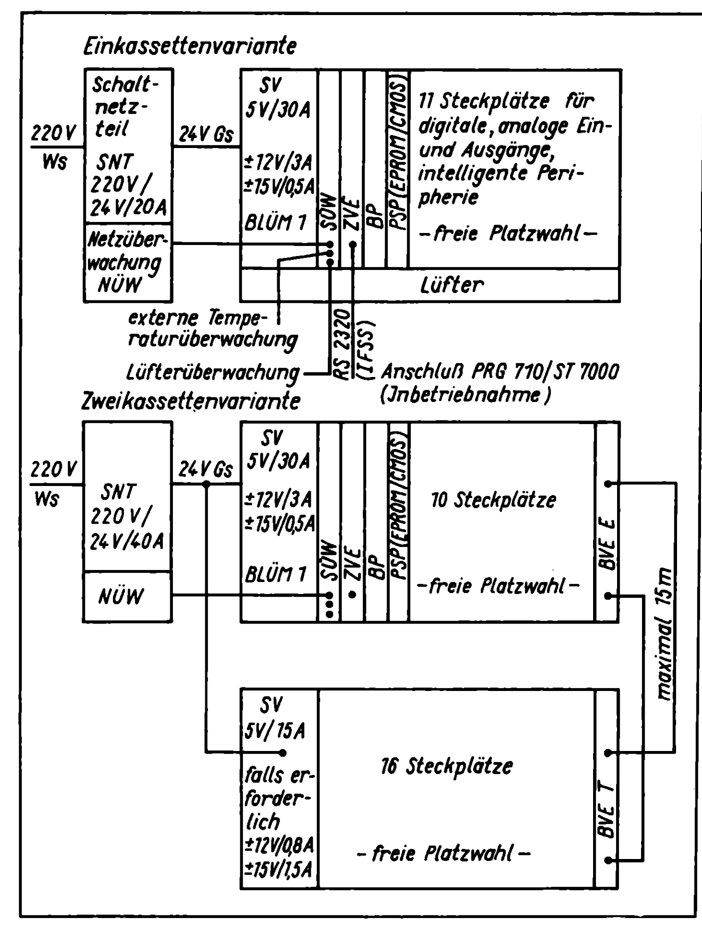


Bild 2. Einkassetten- und Zweikassettenvariante der SPS 7000

— *Intelligenter Kommunikationscontroller IKC*
Das ist die Baugruppe zur Kommunikation zwischen Steuerung und Bediener bzw. zwischen Steuerungen untereinander. Sie verfügt über zwei serielle Schnittstellen (RS 232c, IFSS). Durch die freie Programmierbarkeit können unterschiedlichste Geräte (Terminal, PC, Drucker usw.) angeschlossen werden.

Weitere Baugruppen sind:

— *Busverlängerungseinheit — Empfänger/Treiber*
Für die Weiterleitung des Busses von einem Baugruppeneinsatz zu einem weiteren werden die BLP BVEE und BVET eingesetzt. Die Entfernung kann bis zu 15 m betragen.
— *Stromversorgung*
Jeder Baugruppeneinsatz erhält seine eigene Stromversorgung entsprechend der eingesetzten BLP (z. B. bei Analogbaugruppen ± 15 V). Zum Einsatz kommen DC/DC-Wandler mit einer Nennbetriebsspannung von 24 V. Aufgrund der eingesetzten seriellen Schnittstellen (RS 232c) und der daran anschließbaren Geräte muß sie dem Status einer Sicherheitskleinspannung entsprechen. Dafür wird ein Schaltnetzteil 220 V/24 V/20 A (40 A) eingesetzt.

4. Projektierung

4.1. Peripherie

Entsprechend der Steueraufgabe sind die benötigten Baugruppen auszuwählen und die Kanaladressen festzulegen. Aus der Summe der Baugruppen erhält man die Aussage, welche Ausbaustufe (Ein- bis Fünfkassettenvariante) der Steuerung benötigt wird (Bild 2). Folgende Ausrüstungen sind möglich:

— Einkassettenvariante mit 11 Steckplätzen für Peripheriebaugruppen
— Zweikassettenvariante mit 10 + 16 = 26 Steckplätzen für Peripheriebaugruppen
— Dreikassettenvariante:
  - linienförmig mit 10 + 15 + 16 = 41 Steckplätzen für Peripheriebaugruppen
  - sternförmig mit 9 + 16 + 16 = 41 Steckplätzen für Peripheriebaugruppen
— Vierkassettenvariante
  - stern-/linienförmig mit 56 Steckplätzen für Peripheriebaugruppen
— Fünfkassettenvariante
  - stern-/linienförmig mit 71 Steckplätzen für Peripheriebaugruppen.

4.2. Abbildspeicher

Der Abbildspeicher (Abbild der Prozeßschnittstelle) ist 1023 byte (Kanäle) groß. Der Bitprozessor kann dabei nur auf die Kanäle 0 bis 511 (4096 bit) zugreifen. Der Anwender muß den einzelnen Variablentypen entsprechend große Bereiche des Speichers zuordnen. Bei lückenloser Anordnung der Eingabe-/Ausgabekanäle ist Blocktransfer zwischen Peripherie und Speicher möglich.

4.3. Programmspeicher

Der zentrale Steuerprogrammspeicher ist maximal 32 Kbyte (16384 Befehlsworte) groß und wird durch eine EPROM-Steckkarte realisiert (Speichertyp U 2716). Während der Inbetriebnahme ist der Einsatz pinkompatibler CMOS-RAMs möglich bzw. kann er durch separate CMOS-Steckkarten realisiert werden.

5. Steuerprogrammentwicklung und Prozeß-/Programminbetriebnahme

Zur Programmentwicklung und Inbetriebnahme steht ein auf dem Programmiergerät PRG 710 (Bild 3) lauffähiges Programmpaket mit

— Editoren zur Erfassung des Werteblockes und des Steuerprogramms
— Übersetzer
— Programmverbinder
— Inbetriebnahmeprogramm
— EPROM-Programmer

zur Verfügung. Alle Daten werden auf Diskette gespeichert. Mit dem Dialogprogramm WERTEBLOCK werden Anzahl und Adressen der Variablen vereinbart und die projektierbare Peripherie der SPS erfaßt.
Die Steueraufgabe kann in Modulen geteilt als Anweisungsliste vertikal oder horizontal (Boolesche Gleichung) notiert werden. Bei der Nutzung eines definierten Markenvorrates sind Rückübersetzung des Maschinenkodes und damit Korrekturen im Programmspeicher der SPS möglich. Bei der Verwendung von symbolischen Marken und Variablen sind Korrekturen in den Quellenmodulen zu erfassen. Der Übersetzer ALCP übersetzt die Quellen in den Objektkode. Der Programmverbinder bindet den Werteblock und die Objektmodule zu einem ausführbaren Steuerprogramm. Dieses Programm kann mit dem Inbetriebnahmeprogramm INBET vom Programmiergerät in den Programmspeicher (RAM) der SPS geladen werden, oder es können mit dem EPROM-Programmer EPROMs programmiert werden.
Zur Fehlersuche bzw. Inbetriebnahme „vor Ort“ muß nicht unbedingt mit dem PRG 710 gearbeitet werden, sondern es ist sinnvoll, das wesentlich kleinere und leichtere Serviceterminal ST 7000 mit dem Programmpaket SERVICE zu verwenden. Dessen **Funktionen der Inbetriebnahme** sind:

— Rückübersetzung
— SPS Editor (Ändern, Einfügen, Löschen, Suchen, Verschieben)
— Übersetzung in Maschinenkode
— Betriebsart stellen.

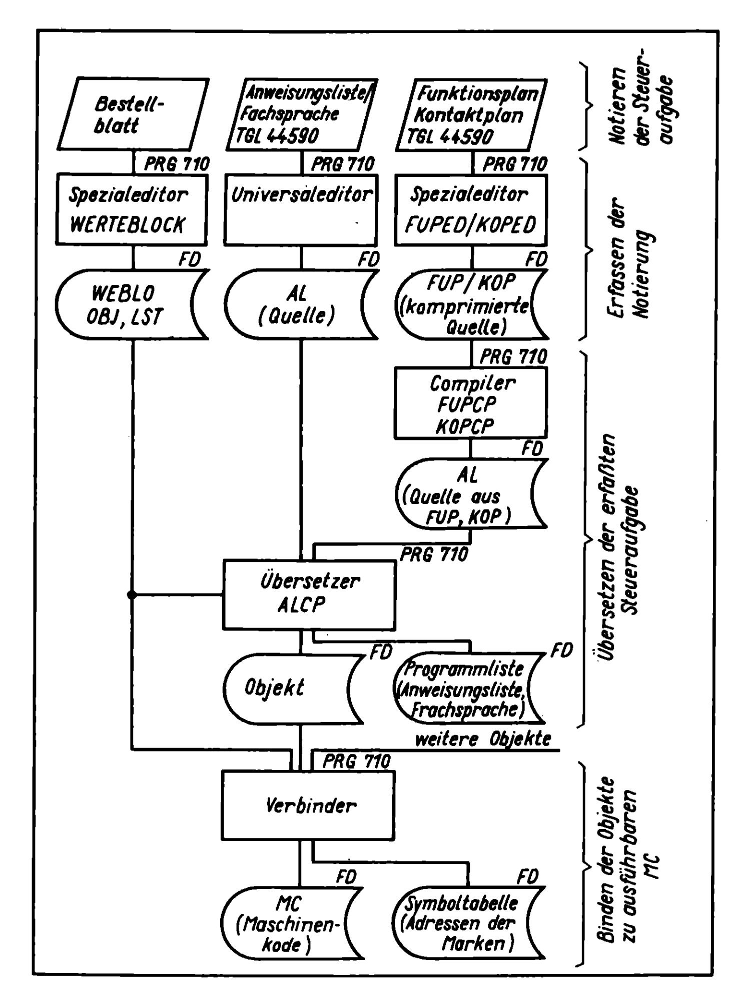


Bild 3. Projektierung und Programmerstellung auf dem Programmiergerät PRG 710

Die **Betriebsarten der SPS** sind:

Grundzustand:
Bei angeschlossenem Inbetriebnahmegerät bzw. bei Einschaltdiagnosefehler nimmt die SPS den Grundzustand ein. Der Grundzustand ist zur Diagnose, Inbetriebnahme der Kommunikation vom/zum Prozeß und zur Übertragung des Steuerprogrammes vorgesehen.
Schrittbetrieb:
Inbetriebnahme des Steuerprogrammes bei abgeschaltetem Prozeß. Es werden ein Befehl oder das Steuerprogramm bis zu einer Adresse ausgeführt. Die Startadresse kann vorgegeben werden.
Zyklischer Betrieb:
Inbetriebnahme des Steuerprogramms, bei der das Steuerprogramm nach Abarbeitung der beim Start vorgegebenen Zyklen unterbrochen wird (Berechnen der Zykluszeit möglich). Der Prozeß kann zugeschaltet werden. (SPS gibt Betriebsbereitschaft über SÜW aus.)
Testbetrieb:
Betrieb mit Funktionen zur Prozeßinbetriebnahme (Anzeige, Steuern, Unterbrechen, Protokollieren)
Prozeßbetrieb:
Betriebsart, die nach Einschalten bzw. Reset bei nicht angeschlossenem Inbetriebnahmegerät und fehlerfreier Einschaltdiagnose automatisch eingenommen wird. Nach Rückmeldung der Betriebsbereitschaft vom Prozeß wird das Steuerprogramm PPO gestartet.

Funktionen zur Prozeßinbetriebnahme:

Die Prozeßinbetriebnahme erfolgt in der Betriebsart Test. Als Funktionen sind vorgesehen:

Anzeige von Variablen
Der Inhalt der ausgewählten Variablen wird einmalig oder ständig angezeigt. Die Übertragung der Daten und die Anzeige am Inbetriebnahmegerät laufen parallel zur Abarbeitung des Steuerprogramms.
Steuern von Variablen
Der Inhalt von Variablen kann einmalig oder ständig gesteuert werden.
Protokollieren
Es können die jeweils 8 letzten Zustände der Parallelprogramme oder die Zustände von 8 binären Variablen (bzw. ein Kanal) protokolliert werden. Die Protokollierung erfolgt bei jeder Zustandsänderung.
Unterbrechungen
Unterbrechungsbedingungen können Programmzustandsadressen (EA-Befehl) oder Zustände von jeweils maximal 8 binären Variablen sein. Die Erfüllung einer Unterbrechungsbedingung wird angezeigt, die Abarbeitung des Anwenderprogramms kann gestoppt werden.

6. Grundlagen der Programmierung

6.1. Binäre Operationen

Binäre Operationen gestatten Boolesche Verknüpfungen und die Zuweisung binärer Werte. In Booleschen Gleichungen werden die Operanden gleichungsgerecht (UND vor ODER, Klammer) abgearbeitet.
Folgende Operationen sind möglich:

U UND-Verknüpfung einer Variablen
UN UND-Verknüpfung einer negierten Variablen
O ODER-Verknüpfung
ON ODER-Verknüpfung einer negierten Variablen
X Antivalenz
XN Äquivalenz
U(UND-Klammer auf
O(ODER-Klammer auf
) Klammer zu
)N Klammer zu, Negation des Klammerausdrucks
S Setzen einer Variablen
R Rücksetzen einer Variablen
= Ergebniszuweisung an eine Variable
=N Zuweisung des negierten Ergebnisses.

Es sind bis zu 15 Klammerebenen zugelassen.

6.2. Operationen zur Programmorganisation

Es werden Programmverzweigungen in Abhängigkeit von einer binären Variablen bzw. des Ergebnisses einer Verknüpfung, durch unbedingte Sprünge, Bausteinaufrufe und Eingabe-/Ausgabeanforderungen realisiert.
Einen speziellen Befehl „Programmende“ mit Realisierung einer Eingabe/Ausgabe und Sprung zum Programmanfang gibt es nicht. Ist zyklische Abarbeitung des Programms notwendig, so sind am Ende des Programms eine Eingabe-/Ausgabeanforderung und ein unbedingter Sprung zum Anfang des Programmes zu schreiben.
Folgende **Programmverzweigungen** sind möglich:

SP Sprung, unbedingt
SPV Sprung bei Variabler mit Wert = 1
SPVN Sprung bei Variabler mit Wert = 0
SPB Sprung bei Ergebnis mit Wert = 1
SPBN Sprung bei Ergebnis mit Wert = 0.

Nulloperationen sind:

DEL gelöschte Operation
NOP keine Operation.

Eingabe-/Ausgabeanforderung:

EA Eingabe/Ausgabe der Prozeßsignale

Jedes Steuerprogramm muß mindestens einen EA-Befehl enthalten. Bei mehreren aktiven Parallelprogrammen bedeutet der EA-Befehl den Übergang zum nächsten Steuerprogramm. Es wird erst dann die Eingabe/Ausgabe der Prozeßsignale veranlaßt, wenn alle aktiven

Steuerprogramme bis zu einem EA-Befehl abgearbeitet wurden. Nach der Eingabe/Ausgabe der Prozeßsignale wird die Abarbeitung der Steuerprogramme bei der geretteten Adresse des ersten Steuerprogramms fortgesetzt.

6.3. Bausteinaufrufe

Es können Funktionsbausteine (FB-wortorientierte Funktionen) oder Programmbausteine (PB-Unterprogramme) aufgerufen werden.

Funktionsbausteine

Funktionsbausteine sind parametrierbare Routinen des Betriebssystems, die vom Mikroprozessor ausgeführt werden. Sie können vom Anwender modifiziert bzw. ergänzt werden. FB werden z. B. dafür genutzt, die intelligenten Baugruppen EZ 1 und IKC zu bedienen.
Aufruf eines Funktionsbausteins:
BAF Name Parameter 1, ... , Parameter n

Programmbausteine

Programmbausteine sind im Steuerprogramm zu definierende, nicht parametrierbare Unterprogramme in der Programmiersprache der SPS. Die maximale Schachtelungstiefe von Programmbausteinen beträgt 8.
Aufruf eines Programmbausteins:
BA Name
Rückkehr in das aufrufende Programm: BE (Bausteinende).

6.4. Parallelprogramme

Im Quellenprogramm können maximal 256 Parallelprogramme notiert werden. Ein Parallelprogramm wird als eigenständiger Modul übersetzt. Alle Markennamen sind nur in dem Modul gültig. In der SPS können maximal 24 Parallelprogramme gleichzeitig verwaltet werden. Das Parallelprogramm PPO ist nach Initialisierung der Steuerung sofort aktiv. Alle anderen Parallelprogramme müssen mit dem Befehl AP aktiviert werden. Ein Parallelprogramm kann nur sich selbst oder alle anderen (gemeinsam) deaktivieren. Zu beachten ist, daß in der SPS mindestens ein Parallelprogramm aktiv sein muß.

Zusammenfassung

Es wurde eine speicherprogrammierbare Steuerung modularen Aufbaus für den oberen Leistungsbereich vorgestellt. Dabei werden zunehmend außer der Booleschen Verarbeitung auch komplexere Funktionen realisiert. Durch die Programmiersprache soll der Anwender in die Lage versetzt werden, ohne Spezialkenntnisse über Mikroprozessoren seine Aufgaben programmieren zu können und durch entsprechende Unterstützung seitens der Inbetriebnahmetechnik die SPS auch einfach und rationell in Betrieb zu nehmen.

Literatur

[1] DIN 19240. Peripherieschnittstellen elektronischer Steuerungen, Stromversorgung und binäre Schnittstellen.
[2] VDI 2880, Bl. 2. Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte, Prozeß- und Datenschnittstellen.
[3] TGL 44590. Werkzeugmaschinen mit speicherprogrammierbarer Steuerung, Darstellung von Anwenderprogrammen.
[4] SAK-N 316/01 und /02: Werksnorm Bussystem S7000.
[5] SAK-N 98: Werksnorm Speicherprogrammierbare Steuerung SPS 7000.

msr 8811

K. Striggow, F. Möckel

Grundlagen, Aufbau und Anwendungen der CTD-Sonde

0. Einleitung

CTD-Sonden gehören seit etwa zwei Jahrzehnten zum Standardinstrumentarium der Ozeanographie. Sie dienen in der Minimalkonfiguration zur Messung der Leitfähigkeit *C*, der Temperatur *T* und des Druckes *p* in der Tiefe des Meeres, sind aber meist noch mit Wasserschöpfern sowie mit weiteren Sensoren, z. B. für die Schallgeschwindigkeit und den gelösten Sauerstoff, ausgerüstet.
Ihre Bezeichnung ist aus dem Angelsächsischen übernommen, wobei *C* conductivity (Leitfähigkeit), *T* temperature (Temperatur) und *D* depth (Tiefe) bedeuten. Der Terminus „Tiefe" ist allerdings unzutreffend, weil nicht die Tiefe, sondern der hydrostatische Druck *p* gemessen wird.
CTD-Sonden, die intern den Salzgehalt *S* (salinity) aus dem Meßwerttripel *C*, *T*, *p* berechnen und ihn anstelle der Leitfähigkeit zur Anzeige bringen, werden STD-Sonden genannt.
Die Meßwerte werden entweder kabelgebunden, seltener hydroakustisch fernübertragen oder bei neueren Geräten intern registriert.
In der Regel werden CTD-Sonden von einem ruhenden Schiff abgesenkt oder von einem fahrenden Schiff geschleppt.
Neben diesen bordgebundenen Anwendungen sind zahlreiche weitere Einsatzmöglichkeiten denkbar, z. B. in Verbindung mit verankerten oder frei driftenden Bojen, Offshore-Bohrtürmen, Küstenbauwerken und unbemannten ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen. Auch Anwendungen in Flüssen, Binnenseen und Talsperren sind bereits bekannt.
CTD-Sonden müssen ihre Präzision über lange Zeiträume (Monate) unter rauhen Einsatzbedingungen bewahren. Sie werden von hochspezialisierten Firmen hergestellt, die in der Regel an Entwicklungen von Forschungs- oder Hochschulinstituten anknüpfen. Das Institut für Meereskunde (IfM) der AdW der DDR ist zugleich Entwickler und Hersteller von CTD-Sonden.

Dr.-Ing. Klaus Striggow (54) studierte von 1952 bis 1958 Physik an der Universität Rostock. Von 1958 bis 1961 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungszentrum der Luftfahrtindustrie (Dresden). Seit 1961 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Meereskunde der AdW der DDR, Rostock-Warnemünde. 1974 bis 1982 dort Stellvertreter des Direktors. 1973 Promotion A (Seegangsmessung). Vorsitzender der internationalen Arbeitsgruppe 77 des Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR). Arbeitsgebiete: Küsten- und physikalische Ozeanographie und ozeanologische Meßtechnik.

Dr. rer. nat. Friedrich Möckel (69) studierte von 1946 bis 1950 Physik an der Karl-Marx-Universität Leipzig. Dort 1961 Promotion am Physikalisch-Chemischen Institut. 1950 bis 1952 VEB Fernmeldewerk Leipzig, 1952 bis 1962 Laborleiter im VEB Entwicklungswerk Funkmechanik Leipzig. Von 1962 bis 1984 Leiter Observatorium und Meßwesen am Institut für Meereskunde der AdW der DDR, Rostock-Warnemünde. Seit Versetzung in den Ruhestand (1985) dort wissenschaftlicher Mitarbeiter.

1. Ozeanologische Grundlagen

Typisches Meerwasser besteht zu rund 96,5 Massenprozent aus H_2O, während sich die restlichen 35 Promille aus einer umfangreichen Palette anderer, anorganischer wie organischer Moleküle und Ionen

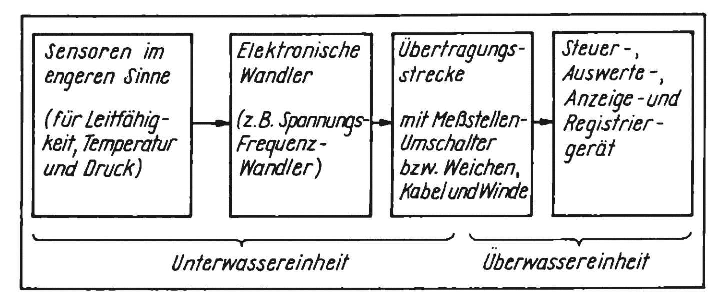


Bild 1. Blockbild einer CTD-Sonde

zusammensetzen. Die elf häufigsten unter ihnen, die sog. Hauptkonstituenten, sind:

$$Cl^-, Na^+, SO_4^{--}, Mg^{++}, Ca^{++}, K^+, HCO_3^-, Br^-, H_3BO_3, Sr^{++}, F^- .$$

Um eine Probe Meerwasser vollständig zu beschreiben, sind theoretisch neben der Temperatur und dem Druck (mindestens) 11 Konzentrationswerte erforderlich, was sehr meßaufwendig wäre und sich in der Praxis verbietet.

Die physikalische Ozeanographie geht deshalb vom *Konzept der konstanten Proportionen* aus, das besagt, daß die Konzentrationen der Hauptkonstituenten immer und überall (näherungsweise) im gleichen Verhältnis stehen. Unter dieser Voraussetzung genügt es, den Salzgehalt pauschal durch einen einzigen Parameter S, definiert als Quotient der Masse der in der Probe gelösten Salze zur Gesamtmasse der Probe, zu charakterisieren [1]. Auch wenn die Meereschemie zeigt, daß das Konzept der konstanten Proportionen nur näherungsweise zutrifft, gibt es für die Meeresphysik keine Alternative, da erst dieses Konzept es ermöglicht, physikalische Eigenschaften des Meerwassers wie beispielsweise die Dichte ϱ als eine nur dreiparametrige Funktion $\varrho(S, T, p)$ darzustellen und zu tabellieren [2] bis [4].

In der „klassischen" Ozeanographie wurden Temperatur und Druck durch druckgeschützte und ungeschützte Quecksilberthermometer (Tiefsee-Kippthermometer) gemessen und der Salzgehalt anhand geschöpfter Wasserproben im Labor mit Hilfe der Knudsen-Titration bestimmt. Steigende Anforderungen an die Feldozeanographie führten zur Salzgehaltsbestimmung durch Leitfähigkeitsmessung. Die elektrische Leitfähigkeit C des Meerwassers ist in nullter Näherung dem Salzgehalt proportional und hängt darüber hinaus noch von der Temperatur T und dem Druck p ab:

$$C = C(S, T, p) .$$

Der Zusammenhang zwischen C, S, T und p kann nur empirisch bestimmt werden.

Um eine weltweite Vergleichbarkeit ozeanographischer Salzgehalts- und Dichteangaben zu erreichen, wurden durch gemeinsamen Beschluß der vier für Meeresforschung kompetenten ozeanographischen Organisationen United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO); International Council for the Exploration of the Sea (ICES); International Association for the Physical Sciences of the Ocean (IAPSO) und Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) die sorgfältig bestimmten und tabellierten Funktionen $S = S(C, T, p)$ und $\varrho = \varrho(S, T, p)$ 1982 verbindlich festgelegt [5] und [6].

Diese Funktionen sind unter den Bezeichnungen „Praktische Salzgehaltsskala 1978 (PSS '78)" bzw. „Internationale Zustandsgleichung des Meerwassers 1980 (IZM '80)" bekannt. Die erstere enthält 25, die letztere 41 empirische Konstanten. Die Berechnung von S und ϱ aus einem gemessenen Wertetripel C, T und p an Bord von Schiffen bietet keine Probleme.

2. Aufbau

Bei einer CTD-Sonde lassen sich folgende vier Funktionsgruppen unterscheiden (Bild 1):

- Sensoren im engeren Sinn
- elektronische Wandler, die das Ausgangssignal der Sensoren in eine für die Weiterverarbeitung und/oder Übertragung und/oder Speicherung geeignete Form umwandeln
- Übertragungsstrecke für Meßwerte, Kommandos und Energie
- Steuer-, Auswerte-, Anzeige- und Speichergerät.

Als Sensoren (im engeren Sinne) finden Verwendung:

- für die Leitfähigkeit [7]
  - die klassische (oder konduktive) Leitfähigkeitszelle mit zwei oder mehr Elektroden
  - die (elektrodenlose) induktive Leitfähigkeitszelle mit in der Regel zwei Ringkernen (auch als Transformatorsonde bezeichnet)
- für die Temperatur
  - Platin- (vereinzelt Kupfer-)Widerstandsthermometer
- für den Druck
  - Membranen oder Bourdon-Rohre in Verbindung mit Dehnungsstreifen
  - speziell geschnittene Quarzkristalle, deren Eigenfrequenz eine Funktion des Druckes ist [33]
  - piezoresistive Elemente auf Siliziumbasis
  - kapazitive Halbleiterelemente mit integriertem hochohmigen Verstärker.

Als Wandler werden eingesetzt:

- Spannungs-Frequenz-Wandler
- Strom-Frequenz-Wandler
- Analog-Digital-Wandler.

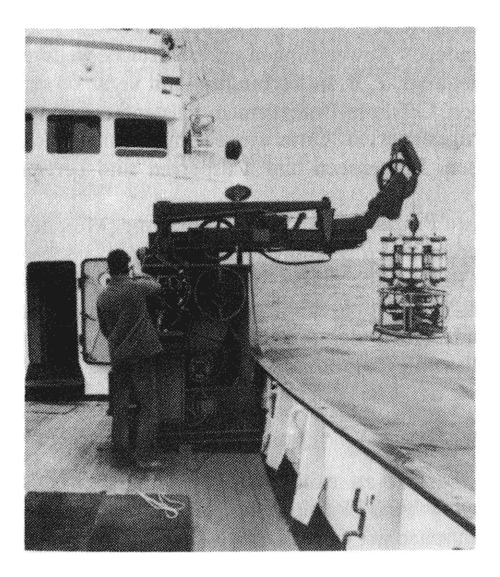
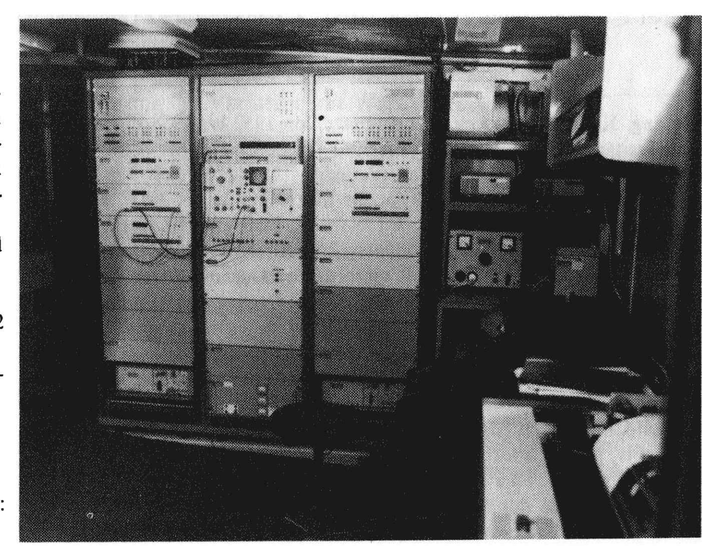


Bild 2. Ozeanologische Meßkette OM-75, eine im Institut für Meereskunde der AdW der DDR entwickelte und gefertigte CTD-Sonde
a) Kabelwinde und Unterwassereinheit mit zusätzlichen Sensoren und 12 Wasserschöpfern (links; Foto: ADN-ZB/Herbst)
b) Überwassereinheit mit integriertem Kleinsteuerrechner (rechts; Foto: H. Kempe)



Anfänglich bildeten Sensoren und Wandler getrennte konstruktive Einheiten, wobei die Wandler in einem gemeinsamen druckfesten Gehäuse untergebracht waren, während die Sensoren unterhalb oder neben diesem Gehäuse angeordnet waren. Diese Bauweise hat jedoch den Nachteil, eine beglaubigungsfähige Eichung zu erschweren, wenn nicht sogar unmöglich zu machen. Deshalb setzt sich zunehmend der Trend durch, jeden Sensor mit dem dazugehörigen Wandler zu einer (relativ kleinen) konstruktiven Einheit, hier als Sensor im erweiterten Sinne bezeichnet, zu verbinden, was nicht nur die zertifizierbare Kalibrierung ermöglicht, sondern auch ein späteres Auswechseln der Sensoren erleichtert.
Für die Übertragung der Meßwerte zur Überwassereinheit und von Kommandos zur Unterwassereinheit wird gewöhnlich ein Kabel verwendet, das auch zur Energieversorgung der UW-Einheit herangezogen wird und darüber hinaus die mechanische Funktion, die UW-Einheit zu tragen, übernimmt. CTD-Kabel bestehen in der Regel aus einer Cu-Seele und einem doppellagig und gegensinnig gewickelten Stahlschirm. Ein wichtiges Gerät ist auch die Winde für das oft mehrere Kilometer lange Kabel.
Das Steuer-, Auswerte-, Anzeige- und Registriergerät bildet den letzten großen Komplex einer CTD-Sonde. Bereits frühzeitig wurden hier Kleinrechner für die Verarbeitung nichtlinearer Kennlinien der Sensoren sowie die komplizierten Salzgehalts- und Dichteberechnungen integriert.
Neue Entwicklungen gehen dazu über, diesen Komplex weitestgehend durch einen Personalcomputer mit kommerziellen Peripheriegeräten zu ersetzen.

3. CTD-Sonde des IfM

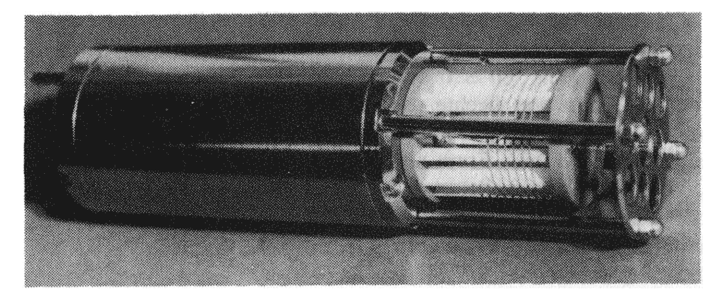
Bild 2 zeigt die vom Institut für Meereskunde der AdW der DDR entwickelte und gefertigte CTD-Sonde mit der Bezeichnung „Ozeanologische Meßkette (OM) — 75“ [8], die seit 1976 auf den Forschungsschiffen „Professor Albrecht Penk“ und „A. v. Humboldt“ erfolgreich eingesetzt wird [9] und [10].
Dank einer fortschrittlichen Entwicklungskonzeption zeichnet sich dieses Gerät besonders durch
— Integration eines Kleinrechners in die Überwassereinheit
— Integration der Sensoren (im engeren Sinne) mit ihrer Wandlerelektronik und die Austauschbarkeit dieser Einheiten (Sensoren im erweiterten Sinne)

aus. Das erstere wurde bereits frühzeitig zum Standard in der praktischen Ozeanographie, während das letztere sich erst heute allgemein durchzusetzen beginnt. Damit bietet die OM-75 eine solide Ausgangsbasis für Weiterentwicklungen [11] und [12].
Die drei Basissensoren beruhen auf folgenden Prinzipien:

— Temperatur: Pt-Widerstandsthermometer [13] (Bild 3)
— Leitfähigkeit: Transformatorsonde [13]
— Druck: Piezoresistive Sonde [14],

jeweils in Verbindung mit einem Phasenschiebergenerator. Als Ausgangssignale liefern sie sinusförmige Wechselspannungen, deren Frequenz in Abhängigkeit von den Eingangsgrößen T, C bzw. p innerhalb einer Oktave variiert. Die Kennlinien $T = T(f)$, $C = C(f)$ und $p = p(f)$ der Sensoren werden durch Parabeln dritter Ordnung approximiert.

Bild 3. Kalibrierfähiger, plombierbarer Präzisionstemperaturwandler der OM-75 für 80 MPa Umgebungsdruck mit frequenzanalogem, kurzschlußfestem Signalausgang (Foto: W. SCHÄFER)



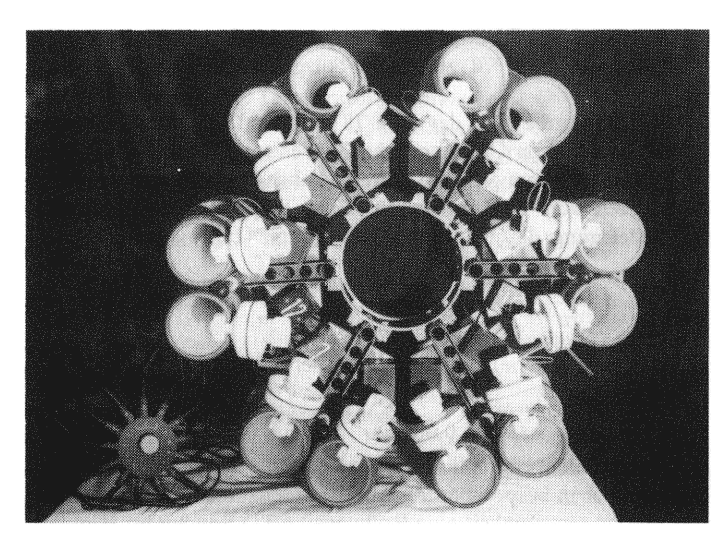


Bild 4. Ringwasserschöpfergruppe der OM-75 mit Auslösemagneten und Schrittschalter zur Ansteuerung (Aufsicht) (Foto: W. SCHÄFER)

Die Übertragung der Sensorsignale erfolgt im Frequenzmultiplexverfahren über ein Einleiterkabel [15]. Im Hinblick auf spätere Erweiterungen wurde das Übertragungssystem für neun Kanäle von der Unterwassereinheit und sieben Kanäle von Bordeinheiten ausgelegt.
In der Überwassereinheit wird jedes Unterwasser-Sensorsignal durch Frequenzvervielfachung in das Frequenzband 46080 bis 71680 Hz verschoben. Die Digitalisierung erfolgt durch Zählung über die „Integrationszeit“ von 1 s. Auf diese Weise wird der Meßbereich jedes Sensors in 25600 Einheiten aufgelöst. 16 weitere, direkt an die Bordeinheit anschließbare Kanäle werden mit der Integrationszeit von 1 min digitalisiert.
Neben diesen Standardsensoren werden in der Unterwassereinheit ein Schallgeschwindigkeitssensor nach dem Sing-around-Verfahren [16], ein Sensor für gelösten Sauerstoff auf der Grundlage der Clark-Elektrode [17] sowie zwölf rosettenförmig angeordnete und durch Kommandos von der Überwassereinheit zu schließende Wasserschöpfer (Bild 4) für meereschemische und -biologische Untersuchungen eingesetzt. Für Routinemessungen bis zu mehreren tausend Metern Tiefe stehen ebenfalls pH-Wandler mit ausgezeichneter Langzeitstabilität zur Verfügung [18] und [32].
In der Überwassereinheit werden noch folgende navigatorische und ozeanographische Daten abgespeichert:

— Temperatur und Leitfähigkeit des Oberflächenwassers
— Luftdruck [19] und -temperatur
— Windrichtung [20] und -geschwindigkeit
— Luftfeuchtigkeit [21]
— Strahlungsbilanz [22]
— Schiffskurs (nach Kompaßangaben)
— Schiffsposition (nach DECCA-Angaben) [23].

4. Genauigkeitsforderungen und ihre Implikationen

Die Forderungen an die Genauigkeit einer CTD-Sonde hängen von der jeweiligen Aufgabenstellung des Anwenders ab. In den Randgebieten der Ozeane findet man infolge der Festlandabflüsse und anderer Küsteneffekte eine relativ hohe Variabilität des Salzgehaltes und der Temperatur, so daß in diesem Falle keine hohen Forderungen an die Meßgenauigkeit gestellt werden müssen. In ihren zentralen Teilen und insbesondere in ihren Tiefen dagegen zeichnen sich die Weltmeere durch eine sehr geringe räumliche und zeitliche Variabilität aus, woraus hier die Forderung nach besonders hoher Meßgenauigkeit resultiert.
Um die Jahrhundertwende wurden Genauigkeiten von 0,01 K bei der Temperatur und 0,01‰ beim Salzgehalt als ausreichend angesehen. Gegenwärtig streben die Ozeanographen nach Genauigkeiten von 0,001 K bzw. 0,003‰ [24]; bei der Druckmessung wird nach Herstellerangaben eine Genauigkeit von 0,15% vom Maximal-

wert entsprechend 7,5 dbar bei einer Wassertiefe von 5 km erreicht, was nach der PSS '78 zu einem Salzgehaltsfehler von 0,003‰ führt.

Das für die Erarbeitung der PSS '78 und der IZM '80 verantwortliche Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (JPOTS) war davon ausgegangen, daß die Zustandsgleichung eine relative Genauigkeit von 10^{-6} aufweisen müsse [25]. Hieraus folgt unter Zugrundelegung der Näherungswerte (nach [26])

$$\frac{\partial \varrho}{\partial S} = 0{,}8\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\,\frac{1}{‰}, \quad \frac{\partial \varrho}{\partial T} = 0{,}2\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\,\frac{1}{\mathrm{K}}, \quad \frac{\partial \varrho}{\partial p} = 0{,}5\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\,\frac{1}{\mathrm{MPa}},$$

daß höhere (statische) Genauigkeitsforderungen als

$$\Delta S = 0{,}0005‰, \quad \Delta T = 0{,}001\ \mathrm{K},$$
$$\Delta p = 0{,}0008\ \mathrm{MPa} = 0{,}08\ \mathrm{dbar}$$

gegenwärtig nicht sinnvoll sind.

Neben der eben besprochenen statischen Genauigkeit spielt auch die dynamische Genauigkeit eine Rolle, weil CTD-Sonden im Hinblick auf eine akzeptable Meßzeit mit Geschwindigkeiten von 1 m/s und mehr abgesenkt werden müssen, wodurch es zu schnellen zeitlichen Änderungen der Meßgrößen kommt, was infolge der Trägheit der Sensoren (und evtl. der Wandler) zu Meßfehlern führt. Die Trägheit ist besonders bei Widerstandsthermometern ausgeprägt.

Aus den genannten Gründen ergeben sich Forderungen an die Sensoren (im engeren Sinn), die Wandler und die Übertragungsstrecke:

Sensoren (im engeren Sinn)
- hohe Auflösung
- gleiche, möglichst hohe Ansprechgeschwindigkeit (im angebauten Zustand) gegenüber veränderlichen Eingangsgrößen während des Absenkens der Sonde
- kein „Übersprechen“
  Der Temperatursensor darf nicht auf Druckänderung, der Drucksensor nicht auf Temperaturänderung und der Leitfähigkeitssensor weder auf Temperatur- noch Druckänderung reagieren.
- keine Meßfehler durch Störeinflüsse, z. B. Erdschleifen
- hohe Kurz- und Langzeitstabilität (Korrosions- und Bewuchsfestigkeit im marinen Milieu usw.)

Wandler
- hohe Auflösung
- Unabhängigkeit gegenüber Änderungen der Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck) sowohl statisch als auch dynamisch
- hohe Kurz- und Langzeitstabilität

Übertragungsstrecke

Auf der Übertragungsstrecke sollten die Meßwerte keine weitere Verfälschung erfahren. Das ist am einfachsten durch ein zweckmäßiges Übertragungsverfahren zu erreichen. Das Spannungsübertragungsverfahren ist wegen des temperaturabhängigen Spannungsabfalls auf dem Kabel ungeeignet. Günstiger wäre das Stromübertragungsverfahren, das aber noch gegen Leckstellen der Kabelisolierung empfindlich ist. Ideal sind das Frequenz- und das digitale Verfahren. Beide sind bei den heutigen CTD-Sonden gebräuchlich.

5. Probleme des praktischen Einsatzes

Beim praktischen Einsatz einer CTD-Sonde zur Ermittlung sinnvoller, genauer und vergleichbarer Meßwerte ergeben sich zahlreiche Probleme, von denen 3 erläutert werden sollen (Abschnitte 5.1. bis 5.3.).

5.1. Wirbelschleppe der CTD-Sonde

Beim Absenken wie beim Heben erzeugt die Sonde, vor allem wenn sie mit einer Rosette Wasserschöpfer ausgerüstet ist, eine ausgeprägte Wirbelschleppe. Die Sensoren müssen sich deshalb im anströmenden Wasser befinden. Gewöhnlich werden die Sensoren am unteren Ende der Sonde angeordnet, so daß sinnvolle Messungen nur beim Senken möglich sind.

Im Bild 5 sind zur Demonstration dieses Effektes zwei Profile der Strömungsgeschwindigkeit (Betrag der Horizontalgeschwindigkeit, gemessen mit einem akustischen Zwei-Komponenten-Strömungsmesser) dargestellt, von denen das eine beim Senken, das andere beim Heben aufgenommen wurde. Beim letzteren tritt die Meßwertverfälschung durch die Wirbelstraße eindrucksvoll in Erscheinung.

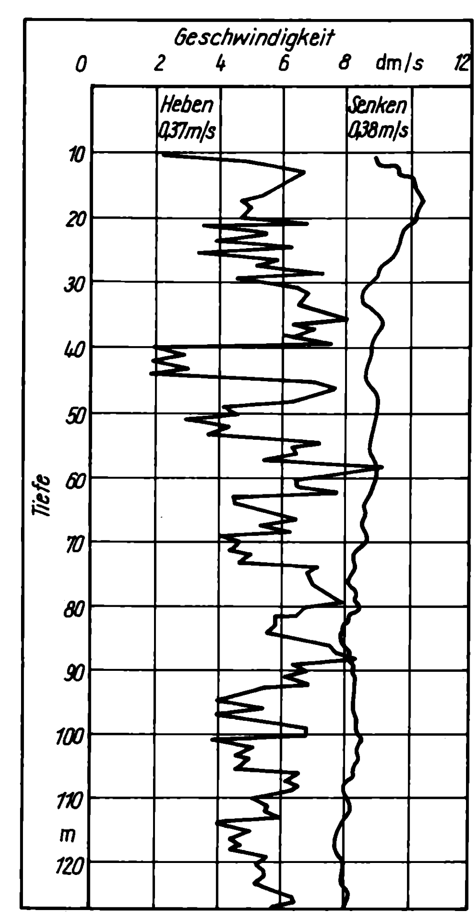


Bild 5. Profile der horizontalen Strömungsgeschwindigkeit, aufgenommen beim Senken (normale Betriebsweise) und beim Heben

5.2. Ungleichförmigkeit der Senkgeschwindigkeit

Infolge der durch Seegang und Dünung verursachten Roll- und Stampfbewegung des Schiffes, die über das Kabel auf den Unterwasserteil der CTD-Sonde übertragen wird, kann dieses nicht mit konstanter Geschwindigkeit abgesenkt („gefiert“) werden. Bei starken Bewegungen des Schiffes kann die Sonde während des Fierens sogar kurzzeitig gehoben werden. Bei den meisten Forschungsschiffen traditioneller Bauart ist es deshalb notwendig, die primär gewonnene Meßwertfolge für C, T und p nachträglich zu bereinigen, so daß sich in den verbleibenden Werten p eine monoton wachsende Folge bildet.

5.3. Ungleiche Trägheit der Sensoren

Ein weiteres Problem entsteht durch die unterschiedliche Trägheit der verwendeten Sensoren, die durch deren Zeitkonstante ausgedrückt wird. Ein Thermometer hat z. B. infolge seiner eigenen Wärmekapazität und der endlichen Wärmeleitfähigkeit seiner Wandung eine Zeitkonstante zwischen 50 ms (ungeschütztes Pt-Spezialthermometer) und einigen Sekunden (druckgeschützte Thermistoren).

Ein Leitfähigkeitssensor arbeitet vom elektrischen Meßprinzip her trägheitslos, aber aus der strömungsdynamisch bedingten Verzögerung des Wasseraustausches resultiert eine gewisse Zeitkonstante.

Die Trägheit der Sensoren hat zur Folge, daß die primär von der CTD-Sonde ausgegebenen C-, T- und p-Werte keine korrespondierenden Momentanwerte sind, wie es für die Anwendung der PSS '78 und der IZM '80 erforderlich wäre. Die formale Berechnung von Salzgehalt und Dichte nach diesen Algorithmen führt daher, sobald sich C oder/und T plötzlich verändern, zu kurzzeitigen Fehlern, die wegen ihrer Form als „Spikes“ bezeichnet werden.

Dieses Problem kompliziert sich dadurch, daß die „Zeitkonstanten“ keine echten Konstanten sind. Die Zeitkonstante des Thermometers hängt z. B. ganz wesentlich von der Anströmgeschwindigkeit und -richtung ab.

5.4. Automatische Korrektur

Es ist möglich, mit Hilfe eines Rechners die primären Meßwerte C, T und p so zu beeinflussen, daß der Druck eine monoton wachsende Reihe bildet. Ebenso ist es möglich, die Auswirkungen unterschiedlicher Zeitkonstanten bei der Salzgehalts- und Dichteberechnung mit einem geeigneten Programm automatisch zu minimieren [27].

Bild 6 zeigt die Leistungsfähigkeit dieses Programmes am Beispiel einer Vertikalsondierung, die bei stark rollendem Schiff und (für die Demonstration besonders gering gewählter) Senkgeschwindigkeit von 0,07 m/s mit der OM-75 gewonnen wurde. Obgleich die Original(-On-line)-Registrierung infolge des Rollens zahlreiche druckinverse Zeilen enthält, treten in den off-line (aber noch an Bord) korrigierten Profilen keinerlei Spikes auf.

6. Kalibrierung und Prüfung

Trotz rauher Behandlung sollen CTD-Sonden ihre Genauigkeit über Monate bewahren. Aus diesem Grunde kommt der Kalibrierung und der laufenden Genauigkeitsüberwachung eine besondere Bedeutung zu.

6.1. Kalibrierungen im Labor

Da der Unterwasserteil der CTD-Sonde im Vergleich zu Thermometer, Drucksensor und Leitfähigkeitssensor recht voluminös ist, ist die Kalibrierung des Gesamtgerätes unter definierten Umgebungsbedingungen (Temperatur und Druck) nur in Ausnahmefällen möglich. Die Kalibrierung bereitet jedoch weit weniger Probleme, wenn jeder Sensor mit dem dazugehörigen Wandler eine in sich geschlossene und für sich arbeitsfähige Einheit bildet und dadurch ohne die übrigen Teile der CTD-Sonde in Betrieb genommen werden kann. In diesem Fall ist es sogar möglich, jedem Sensor ein amtliches Zertifikat auszustellen!

Größere ozeanographische Institute, so auch das Institut für Meereskunde, verfügen über eigene meßtechnische Prüfeinrichtungen, zu denen insbesondere sog. Druckkessel gehören, in denen kleinere

Bild 6. Vertikalsondierung von Sauerstoffgehalt (O), Salzgehalt (S), Temperatur (T) und Schallgeschwindigkeit (V), gewonnen unter ungünstigen äußeren Bedingungen jedoch off-line-korrigiert nach [27]

```
--------------------------------------------------------------------
       I    6,00                 O(mg/l)                      9,00 I
Druck  I   19,00                 S(g/kg)                     34,00 I
(kPa)  I    4,00                 T(°C)                       19,00 I
       I 1460,00                 V(m/s)                    1520,00 I
--------------------------------------------------------------------
   10  V                                                           I
   20  I    S                O                V               T    I
   30  I    S      O                          V               T    I
   40  I    S           O                     V               T    I
   50  I    S              O                  V               T    I
   60  I    S              O                  V               T    I
   70  I     S             O                 V                T    I
   80  I             S          V   O       T                      I
   90  I               S       V   O     T                         I
  100  I                 S     V  O     T                          I
  110  I                   S   V O     T                           I
  120  I                       V O T  S                            I
  130  I                   VT O                     S              I
  140  I                   TV  O                      S            I
  150  I           O     T  V                            S         I
  160  I    O           T  V                              S        I
  170  I         O     T  V                               S        I
  180  I          O    T  V                                S       I
  190  I        O     T  V                                 S       I
  200  I        O     T  V                                 S       I
  210  I       O     T   V                                  S      I
  220  I       O     T  V                                   S      I
  230  I          O T  V                                     S     I
  240  I           TO V                                       S    I
  250  I       O T    V                                       S    I
  260  I         TO  V                                        S    I
  270  I        T   V O                                        S   I
  280  I        T  V    O                                     S    I
  290  I       T   V    O                                     S    I
  300  I      T   V    O                                       S   I
  310  I     T   V   O                                         S   I
  320  I    T    V    O                                         S  I
  330  I    T    V  O                                           S  I
  340  I    T   V     O                                         S  I
  350  I    T   V     O                                         S  I
  360  I   T    V   O                                            S I
  370  I  T     V    O                                           S I
  380  I  T    VO                                                S I
  390  I T     VO                                                 SI
  400  I T    OV                                                  SI
  410  I T  O V                                                   SI
```

Geräte einem hohen hydrostatischen Druck ausgesetzt werden können [28].

Die Kalibrierung des Temperatursensors erfolgt üblicherweise mit einem beglaubigten Pt- oder Quarzthermometer als Sekundärnormal, das mit Hilfe von Tripelpunktzellen (Tafel) an die Fixpunkte der Internationalen Praktischen Temperaturskale (IPTS) 68 angeschlossen wird.

Der Drucksensor wird mit einer Druckwaage geeicht.

Tafel. Verwendete Tripelpunktzellen

Substanz	Tripelpunkt (°C)
Wasser	0,0100
Phenoxybenzene	26,8685
Gallium	29,7740
Ethylene Carbonate	36,3241

Die Eichung des Leitfähigkeitssensors erfolgt mit Hilfe von sog. „Normalwasser (standard seawater)", das unter Aufsicht der IAPSO vom internationalen Normalwasserdienst (Standard Seawater Service, Wormley/Großbritannien) aus küstenfernem Nordatlantikwasser durch Filtration und geringfügige Verdünnung mit destilliertem Wasser hergestellt wird. Der Salzgehalt wird so eingestellt, daß er dem Wert 35‰ möglichst nahekommt.

Der Gehalt an Chlorid(Cl^-)-Ionen sowie seit Einführung der PSS '78 und der IZM '80 die relative, auf einen absoluten und reproduzierbaren KCl-Standard bezogene elektrische Leitfähigkeit werden mit der höchsten derzeit möglichen Genauigkeit ausgemessen [29].

6.2. Kontrolle im Routinebetrieb durch Vergleich mit den klassischen Meßmethoden

Der Temperatur- und der Drucksensor können durch je eine Vergleichsmessung mit druckgeschützten und ungeschützten Tiefseekippthermometern geprüft werden. Da letztere eine Zeitkonstante von mehreren Minuten besitzen, erfordert eine derartige Vergleichsmessung eine stationäre CTD-Sonde. Es ist ferner notwendig, sich vor dem Vergleich davon zu überzeugen, daß kein vertikaler Temperaturgradient vorhanden ist. Tiefseekippthermometer sind zwar langzeitstabil, ihre Genauigkeit (0,01 K) erreicht aber nicht die von elektronischen Präzisionstemperatursensoren.

Der Leitfähigkeitssensor kann durch Schöpfen einer Wasserprobe überprüft werden, indem deren Salzgehalt im Labor (entsprechend PSS '78) bestimmt und mit dem aus den In-situ-Werten von C, T und p berechneten verglichen wird.

6.3. Kontrolle im Routinebetrieb durch einen Schallgeschwindigkeitsmesser

Leitfähigkeits-, Temperatur- und Drucksensor insgesamt können überprüft werden, indem die CTD-Sonde zusätzlich mit einem Schallgeschwindigkeitssensor ausgerüstet und die aus C, T und p nach dem von C.-T. Chen und F. J. Millero [30] aufgestellten Algorithmus berechnete Schallgeschwindigkeit mit der gemessenen verglichen wird.

6.4. Spezielle Kontrollen

Wenn es technisch möglich ist, das Widerstandsthermometer bzw. die Dehnungsmeßstreifen des Drucksensors durch einen temperaturinvarianten Festwiderstand bzw. ein temperaturinvariantes Widerstandsnetzwerk zu ersetzen, kann auf diese Weise die Langzeitstabilität der Wandler nebst der Übertragungsstrecke sowie deren Verhalten bei Veränderung der Umgebungsbedingungen (Temperatur und Druck) geprüft werden.

Bei induktiven Leitfähigkeitssensoren kann die Meereswasserschleife durch eine Schleife aus Kupferdraht mit einem temperaturinvarianten Widerstand ersetzt werden. Bei diesem Test kann jedoch die sog. Zellkonstante des Sensors, die die Dimension einer Länge hat und nur von den geometrischen Abmessungen des Sensors abhängt, und sich deshalb mit der Temperatur und dem Druck verändert, nicht überprüft werden.

Die Übertragungsstrecke schließlich läßt sich überprüfen, indem die Sensorausgangssignale durch bekannte Signale ersetzt werden.

6.5. „Interkalibrierungen" bei Mehrschiffexpeditionen

Bei Mehrschiffexpeditionen ist die Frage der Vergleichbarkeit der Meßwerte verschiedener CTD-Sonden von besonderer Aktualität, so daß sog. Interkalibrierungen zu Beginn und am Ende des Unternehmens geboten sind. Da die Vergleichsmessungen in einem gewissen räumlichen Mindestabstand durchgeführt werden müssen, erfordert diese Methode einen horizontal homogenen Wasserkörper. Grobe Gerätefehler lassen sich hierbei leicht erkennen, bei kleineren Abweichungen der Meßwerte ist jedoch in der Regel keine Entscheidung möglich, ob die Voraussetzung der Homogenität des Ozeans nicht erfüllt ist oder ob ein Gerätefehler vorliegt.

6.6. Multiple Sensoren

Das Prinzip der multiplen Sensoren, d. h. die Verwendung mehrerer Sensoren für die gleiche Aufgabe, jedoch möglichst von unterschiedlicher Wirkungsweise, für Messungen an der Grenze der technisch erreichbaren Genauigkeit, ist in der Meßtechnik nicht neu. Seit kurzem hat es auch Eingang in die ozeanographische Meßtechnik gefunden. So verwenden R. Spencer und J. M. Vassie [31] für die Langzeitregistrierung der Tiefseegezeiten in jedem Gerät drei Drucksensoren (1 Quarzsensor und 2 Membranen mit Dehnungsmeßstreifen). E. L. Lewis [24] benutzt dieses Prinzip für die Temperaturmessung in CTD-Sonden, indem er das Widerstandsthermometer durch zwei (druckgeschützte) Thermistoren ergänzt und so eine Genauigkeit von ± 1 mK erreicht.

Entwicklungstendenzen

Trotz des bereits erreichten hohen Standes ist noch kein Ende der Entwicklung auf dem Gebiet der CTD-Sonden abzusehen. Es sind folgende Trends erkennbar:

- Verbesserung der Handhabbarkeit durch
  - Verringerung der Abmessungen und Massen
  - Einführung von Einrichtungen bei der intern registrierenden Variante, die das Auslesen der Daten ohne vorheriges Öffnen des Gerätes ermöglichen
- Erhöhung der Multivalenz durch Entwicklung von Sensoren für weitere physikalische, aber auch chemische Größen (Strömungs- und Schallgeschwindigkeit, Lichtstreuung und -extinktion, pH, gelöster Sauerstoff und Schwefelwasserstoff, Konzentration spezieller Ionen u. a.)
- Verwendung von Personalcomputern mit ihrer kommerziellen Peripherie, wie Diskettenspeichern, Printern und Plottern, als Steuer-, Auswerte-, Anzeige- und Registriergerät
- Erhöhung der Meßgenauigkeit durch
  - Verwendung kalibrierter, austauschbarer Sensoren in Verbindung mit einem fehlerfreien Übertragungsverfahren
  - Verwendung multipler (d. h. mindestens dreifacher) Sensoren.

Literatur

[1] Striggow, K.: Brachte die „Practical Salinity Scale 1978" eine neue Maßeinheit, eine neue Definition oder eine neue Meßmethode für den Salzgehalt des Meerwassers? Seewirtschaft, Berlin 17 (1985) 5, S. 253 bis 258.

[2] Knudsen, M.: Hydrographische Tabellen. Kopenhagen: G. E. C. Gad und Hamburg: L. Friederichsen & Co. 1901.

[3] Unesco technical papers in marine science, No. 39. International Oceanographic Tables, Vol. 3., Paris 1981.

[4] Unesco technical papers in marine science, No. 40. International Oceanographic Tables, Vol. 4., Paris 1987.

[5] Unesco technical papers in marine science, No. 37. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. Paris 1981.

[6] Unesco technical papers in marine science, No. 38. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater 1980. Paris 1981.

[7] Striggow, K.; Dankert, R.: Induktive Leitfähigkeitssensoren für die ozeanologische Anwendung — Physikalische Wirkprinzipien, theoretische Grundlagen und die Möglichkeiten zur Eliminierung des Einflusses einer variablen Kernpermeabilität. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1984) 50, S. 25—41.

[8] Möckel, F.: Die ozeanologische Meßkette OM 75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1980) 43, S. 5—14.

[9] Möckel, F.: Experiences from the application of a computer controlled oceanographic measurement system installed on board a vessel. Studia i Materialy Oceanologiczne, Sopot (1980) 31, S. 111—124.

[10] Francke, E.: Einsatzerfahrungen mit der Meßkette OM 75. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1980) 43, S. 15—22.

[11] Möckel, F.: Project of a Hydro-Meteorological Shallow Water Measuring System (FMS 80), Using Buoys with a VHF Radio Telemetering Link. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1980) 43, S. 57—62.

[12] Möckel, F.; Seehase, H.: Transportabler Mast für automatische, hydro-meteorologische Stationen. Seewirtschaft, Berlin 18 (1986) 9, S. 450—451.

[13] Dankert, R.; Will, H.: Temperatur- und Leitfähigkeitswandler mit frequenzanalogem Ausgang. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1980) 43, S. 23—32.

[14] Angermann, R.: Präzisions-Druck-Meßwandler für Feldeinsatz mit frequenzanalogem Ausgangssignal. Diplomarbeit TU Dresden, Sektion Informationstechnik, 1983.

[15] Feilotter, H.; Möckel, F.; Vörtler, G.: Bandfilter kleiner Abmessungen mit steilen Flanken und geringer Welligkeit im Durchlaßbereich für die ozeanologische Meßkette OM 75. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1980) 43, S. 39—49.

[16] Striggow, K.; Tiffert, A.: Messung der Schallgeschwindigkeit. Teil II: Der Schallgeschwindigkeitswandler SGW-73. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1982) 46, S. 5—11.

[17] Krüger, S.; Francke, E.: Erste Applikationsergebnisse mit einem in der DDR entwickelten in-situ-Sauerstoffsensor mit frequenzanalogem Ausgang. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1982) 46, S. 13—21.

[18] Krüger, S.: pH-Sensor mit Eignung für in-situ-Fernmessungen. Unveröffentlichter Erprobungsbericht. Institut für Meereskunde Rostock-Warnemünde, Teil 1 1984, Teil 2 1985.

[19] Krüger, S.; Kröger, W.: Präzisions-Aneroid-Barometer mit frequenzanalogem Ausgang Typ B 01:80. Unveröffentlichte Geräte-Dokumentation. Institut für Meereskunde Rostock-Warnemünde 1981.

[20] Krüger, S.; Seehase, H.: Winkel-Frequenz-Umsetzer. Unveröffentlichte Geräte-Dokumentation. Institut für Meereskunde Rostock-Warnemünde 1981.

[21] Angermann, R.; Bohmann, W.; Möckel, F.; Neubert, G.: Ein Aspirationspsychrometer mit frequenzanalogem Ausgangssignal und Eignung zum Langzeiteinsatz auf maritimen Geräteträgern. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1980) 43, S. 63—72.

[22] Wojtkiewicz, J.: Der Strahlungsbilanzmesser Typ SBM-2 aus dem ZWG der AdW der DDR. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1982) 46, S. 43—47.

[23] Wiechert, H.: Anwendung eines Verfahrens zur Umrechnung von DECCA-Koordinaten in geographische Koordinaten. Unveröffentlichter Bericht. Institut für Meereskunde Rostock-Warnemünde 1985.

[24] Lewis, E. L.: The Calibration of CTD Sensors. Advances in Underwater Technology and Offshore Engineering. Vol. 4: "Evaluation, Comparison and Calibration of Oceanographic Instruments". London: Graham & Trotman Ltd. 1985.

[25] Unesco technical papers marine science, No. 14. Fifth Report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards. Kiel 1969.

[26] Craig, R. E.: Marine Physics. London/New York: Academic Press, 1973.

[27] Lass, H.-U.; Wulff, C.; Schwabe, R.: Methoden und Programme zur automatischen Erkennung und Korrektur von Meßfehlern in ozeanologischen Vertikalprofilen. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1983) 48, S. 95—111.

[28] Bengelsdorff, E.: Anlagen zur Nachbildung von Tiefsee-Verhältnissen. Beiträge zur Meereskunde, Berlin (1971) 28, S. 9—18.

[29] Culkin, F.; Smed, J.: The history of standard seawater. Oceanologica Acta 2 (1979) 3, S. 355—364.

[30] Unesco technical papers in marine science, No. 44. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Paris 1983.

[31] Spencer, R.; Vassie, J. M.: Comparison of Sea-Level Measurements obtained from Deep Pressure Sensors. Ocean Data Conference, London 1985.

[32] Queck, Ch.; Auras, S.: pH-Meßwandler für ozeanologische Untersuchungen. Informationen aus dem Forschungsinstitut „Kurt Schwabe" Meinsberg (1958) 3, S. 18—21.

[33] Paros, J. M.: Digital Pressure Transducers. Measurements and Data, Issue 56, 10 (1976) 2, March—April.

msr 8758

Neue Vorschrift über die zulässigen Arbeitsumweltbedingungen für Automatisierungsanlagen

Ab 1. Juni 1988 ist die Neuausgabe des Teiles 05 des Standards TGL 32991 [1] für arbeitsgestalterische, arbeitshygienische und bautechnische Forderungen für Automatisierungsanlagen verbindlich. Der Anlaß für die durch den VEB GRW Teltow durchgeführte Überarbeitung des ersten seit dem 1. Juli 1977 gültigen und in [2] beschriebenen Standardteiles war

- eine Vereinigung mit dem bisher bestehenden Standardkomplex TGL 31872 [3] zu den Wartenräumen und -nebenräumen durchzuführen, um damit bei den bautechnischen Forderungen Überschneidungen und Dopplungen auszuschließen
- Veränderungen der Aufteilung der Warten in Wartenraum, -nebenraum, -rechnerraum und -serviceraum und deren Dimensionierungen, hervorgerufen durch die Veränderung im Geräteumfang, z. B. mit Einführung der Mikrorechentechnik und neuer Grundsätze der Gerätesystematisierung durch verstärkte Anwendung von Hierarchiesystemen, Rechnung zu tragen
- die Einführung von Bildschirmarbeitsplätzen zu berücksichtigen.

Der neue Teil 05 von TGL 32991 gilt jetzt für alle stationären Automatisierungsanlagen. Für Rekonstruktionsvorhaben ist dessen Anwendung ebenfalls empfohlen. Er gilt jedoch nicht für Automatisierungsanlagen für Be- und Verarbeitungsmaschinen, im Bergbau unter Tage und für Transport- und Fördereinrichtungen, z. B. in Fahrzeugen, Kränen und Baggern.

Im Bereich der arbeitshygienischen Forderungen konnte mit Hilfe der Verweistechnik auf bereits in anderen Standards festgelegte Forderungen hingewiesen werden. Notwendige Kenndaten wurden ergänzt. Dies betrifft die Daten der Beleuchtung nach TGL 200-0617 [4], der Notbeleuchtung nach TGL 200-0636 [5], der zulässigen gesundheitsgefährdenden und nichttoxischen Stäube in der Luft, graduierten mikroklimatischen Bedingungen nach TGL 32603 [6], zulässigen Schwingungen nach TGL 32628 [7] sowie den zulässigen abgestuften Schalldruckpegeln nach TGL 32624 [8] für alle Räume, in denen Automatisierungsanlagen aufgestellt werden.

Im Bereich der arbeitsplatzgestalterischen Forderungen sind neben den allgemeinen Grundsätzen zur Arbeitsplatzgestaltung von Steh- und Sitzarbeitsplätzen nach TGL 32604 [9] auch spezielle Forderungen an die Anordnung der Gefäße sowie Geräte auf Anzeige- und Bedienflächen aufgeführt. So ist verfügt, daß die Geräte auf Anzeige- und Bedienflächen, z. B. in Warten, in Abhängigkeit von der Prozeßgliederung gruppiert nach: Funktion, Bedeutung, Häufigkeit ihrer visuellen Wahrnehmung, Häufigkeit ihrer Betätigung und Folgerichtigkeit ihrer Betätigung anzuordnen sind und bei Bedienhandlungen die zugehörigen Anzeigegeräte nicht verdeckt werden dürfen. Ebenfalls sind die höchstzulässigen unteren und oberen Anordnungsabstände für Betätigungselemente, Anzeige- und Registriergeräte besonders zu beachten. Als niedrigster Anordnungsabstand werden, gemessen von der Standfläche des Bedienenden, für alle Geräte 800 mm gefordert. Der obere Anordnungsabstand ist dagegen, gemessen von der Standfläche des Bedienenden, für allgemeine

- Betätigungselemente auf 1800 mm
- Anzeigegeräte auf 2000 mm
- Registriergeräte auf 1650 bzw. 1800 mm

unterschiedlich festgelegt. Betätigungselemente, die häufig (mindestens 2mal je Stunde) betätigt werden müssen, sollen jedoch stets im Bereich von 900 bis 1300 mm angeordnet werden.

Die Aufnahme von gestalterischen, arbeitshygienischen und bautechnischen Forderungen für Bildschirmarbeitsplätze konnte nicht mehr in den vorliegenden Teil 5 von TGL 32991 eingeordnet werden, da zu diesem Komplex z. Z. ein neuer umfassender Standard TGL 44690 [10] unter Leitung des VEB Kombinat Datenverarbeitung Berlin erarbeitet wird, der alle Probleme der Bildschirmtechnik umfassen und auch ebenfalls für komplette Bildschirmarbeitsplätze der Prozeßtechnik verbindlich sein soll.

Die bisher in TGL 31872 [3] enthaltenen bautechnischen Forderungen für Räume, überwiegend von Wartenräumen, in denen Automatisierungsanlagen zur Aufstellung kommen, wurden in [1] überführt und dem Einsatz neuer Gerätetechniken und Technologien des Bauwesens angepaßt. So werden jetzt, um alle Automatisierungseinrichtungen, auch der Mikrorechentechnik, von zentralen Steuerstellen unterzubringen, weitere Wartenräume mit hoher klimatischer Einsatzklasse benötigt. Eine Aufteilung der Warten kann daher bei umfangreichen Anlagen in den Wartenraum und -nebenraum, die oft nur durch Wartenfelder getrennt sind, sowie den Wartenrechner- und -serviceraum vorgenommen werden. Alle diese Räume sollten möglichst zusammenhängend angeordnet und stützenfrei sein. Rohrleitungen mit flüssigen und/oder gasförmigen Medien, z. B. Dampfrohrleitungen, dürfen nur in Ausnahmefällen durch Wartenräume geführt werden und zwar nur dann, wenn die Gebrauchsfähigkeit und eine störende Beeinflussung der Automatisierungsanlage ausgeschlossen sind. Die Räume der Warten sollen folgendermaßen ausgeführt und ausgestattet werden:

- Mindestraumhöhen für den Wartenraum 3000 mm, den Wartennebenraum 2500 mm, für Kabelräume 1800 mm
- Wand- und Deckenflächen von Wartenräumen und -nebenräumen sind glatt auszuführen. Die Wände sind darüber hinaus mit einem Anstrich zu versehen, der eine feuchte Reinigung zuläßt.
- Die Zugänge zu ständig besetzten Wartenräumen und Wartenrechnerräumen sind mit einer Luftschleuse zu versehen, wenn die zulässigen Umgebungseinflüsse, z. B. aus benachbarten Räumen, sonst nicht eingehalten werden können.
- Es sind für alle Räume zum Errichten der Anlagen ausreichende Transportöffnungen, z. B. an Türen, vorzusehen.
- Wartenräume und Wartenrechnerräume sind mit einer Heizung und zum Zwecke der Kabel- und Leitungsführung vorzugsweise mit einem auf dem Rohfußboden aufgesetzten Fußboden aus Holzspanplatten auszustatten. Hierbei sind die zulässigen Brandlasten bis 1000 MJ zu beachten sowie weitere Sicherheits- und Brandschutzmaßnahmen, z. B. nach TGL 30513/02 [11], vorzusehen.
- Wand- und Deckendurchführungen für Kabel und Leitungen sind nach Beendigung der Montage mit feuerhemmenden Baustoffen zu verschließen.
- In ständig besetzten Wartenräumen und Wartenrechnerräumen sind Fußbodenbeläge zu verwenden, die sich nicht stärker elektrostatisch aufladen als PVC-Beläge. Prüfplätze in Wartenserviceräumen sollen zusätzlich mit einem leitfähigen geerdeten Fußbodenbelag ausgestattet werden.

Der o. g. leitfähige Fußbodenbelag für Serviceräume (mit Ableitwiderständen zwischen 1 bis 100 MΩ) soll zum Abbau elektrostatischer Aufladungen dienen. Nach [12] soll mit dieser Maßnahme eine Entladung am Prüfplatz auf ein Sicherheitsniveau für die Geräte

Tafel. Mindestmaße für Bedienungs- und Arbeitsgänge in Automatisierungsanlagen

Art der Anlage	Mindestgangbreite in mm[1]					maximale Ganglänge in mm	Mindestganghöhe in mm	
	Anlagen mit Berührungsschutzvorrichtungen[2]	Anlagen ohne Berührungsschutzvorrichtungen: Nennspannung: < 50 V Ws, < 120 V Gs	nichtisolierte aktive Starkstromteile auf einer Seite des Ganges; Ganglänge < 7000 mm	nichtisolierte aktive Starkstromteile auf einer Seite des Ganges; Ganglänge ≧ 7000 mm	nichtisolierte aktive Starkstromteile auf beiden Seiten des Ganges	alle Anlagen (für Kabelräume nicht festgelegt)	bis zu nicht abgesperrten nicht isolierten aktiven Starkstromteilen	bis zu Decken ohne Schutzverkleidung
ortsfest	800	800	1000	1200	1500	• 20000 • 10000 (ein Zugang)	3500 2500[3]	• allgemein 2100[4] • Wartenraum 2500 • Kabelraum 1800[5]
ortsveränderlich	600	600	—	—	—	—		1800

[1] Die Breite für Arbeitsgänge darf um maximal 200 mm verringert werden, sofern von diesen Gängen aus die Anlagen nur visuell kontrolliert und im spannungsfreien Zustand gewartet werden (siehe Bild 1).
[2] Mindesthöhe der Berührungsschutzvorrichtung; Schutzverkleidung oder -gitter 1700 mm; Schutzleiste 1000 mm.
[3] Diese Ganghöhe gewährleistet den teilweisen Berührungsschutz bei Einhaltung der Forderungen nach TGL 200-0602/02 und ist nur in abgeschlossenen elektrotechnischen Betriebsräumen anwendbar.
[4] Eine stellenweise Verminderung der Raumhöhe von Wartennebenräumen um maximal 400 mm durch Unterzüge, Kanäle und dgl. von maximal 500 mm Breite ist zulässig.
[5] Eine stellenweise Verminderung der Raumhöhe von Kabelräumen um maximal 200 mm durch Unterzüge und dgl. von maximal 500 mm Breite ist zulässig.

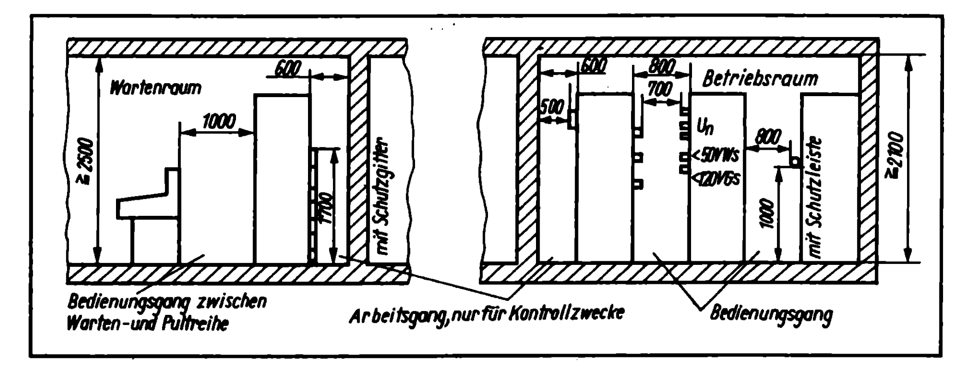


Bild 1.
Beispiel für Mindestgangbreiten und -höhen für ortsfeste Anlagen

von 100 V innerhalb 1 s erreicht werden. Die nach TGL 200-0601/03 [13] und TGL 32991/04 [14] zulässigen Mindestbreiten, -höhen und Längen von Bedien- und Arbeitsgängen wurden für Automatisierungsanlagen ebenfalls überprüft und teilweise präzisiert. Der neue verbindliche, in der Praxis angewandte Stand ist in der Tafel sowie in den Bildern 1 und 2 dargestellt.

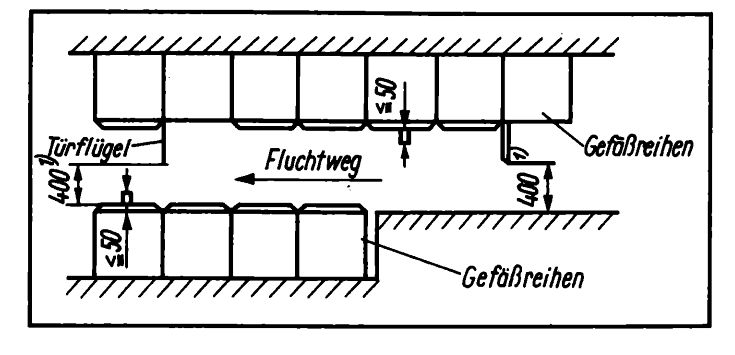
Hierbei wurden neu geregelt:
- die Mindestganghöhen für Wartenräume mit 2500 mm, für den Wartennebenraum und alle Räume außerhalb des Wartenkomplexes mit 2100 mm sowie für elektrotechnische Betriebsräume mit 2500 mm
- die Ganglängen mit maximal 20 m bei mehreren Zugängen
- die stellenweise Verminderung der Raumhöhen von Wartenneben- und Kabelräumen um 400 bzw. 200 mm durch vorhandene Unterzüge im Baukörper.

Literatur

[1] TGL 32991 Automatisierungsanlagen; Arbeitshygienische, arbeitsgestalterische und bautechnische Forderungen. Ausgabe Juni 1987.
[2] Kloust, H.: Errichtungsvorschriften für Automatisierungsanlagen — Standard TGL 32991 „Automatisierungsanlagen" Ausgabe Juni 1976. Elektrie, Berlin 31 (1977) 9, S. 478—481.
[3] TGL 31872 MSR-Anlagen; Wartenräume und Wartennebenräume, Ausgabe Dezember 1975.
[4] TGL 200-0617 Beleuchtung mit künstlichem Licht. Ausgabe 1981 bis 1986.
[5] TGL 200-0636 Notbeleuchtung. Ausgabe 1984.
[6] TGL 32603 Arbeitshygiene; Mikroklima in Arbeitsräumen. Ausgabe Mai 1980.
[7] TGL 32628 Arbeitshygiene; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Ausgabe Mai 1983.
[8] TGL 32624 Arbeitshygiene; Lärm am Arbeitsplatz, Grenzwerte. Ausgabe Februar 1983.
[9] TGL 32604 Arbeitshygiene; Allgemeine ergonomische Forderungen. Ausgabe November 1978.
[10] TGL 44690 Bildschirmarbeitsplätze; Ergonomische Forderungen. Entwurf 1986.
[11] TGL 30513/02 GAB; Datenverarbeitungseinrichtungen mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen. Ausgabe September 1978.
[12] Karoos, M.: Elektrostatische Ladung gefährdet Bauelemente. Technische Gemeinschaft, Berlin (1987) 6, S. 23.
[13] TGL 200-0601/03 Errichten elektrotechnischer Anlagen; Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V Ws oder 1500 V Gs. Ausgabe Juli 1986.
[14] TGL 32991/04 Automatisierungsanlagen; Sicherheitstechnische Forderungen. Ausgabe Dezember 1980.

msr 8892 Ing. Ing. H. Kloust, leitender wissenschaftlicher Mitarbeiter und Koordinierungsbeauftragter für Standardisierungsaufgaben der Automatisierungstechnik im ZFT des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau Berlin

Bild 2. Mindestgangbreite des Fluchtweges
[1] maximale Einengung durch arretierbare Türen bei größtem Öffnungswinkel



R. Wieland

LISP — eine Einführung für Automatisierungstechniker 3

2. LISP als Programmiersprache

2.1. Funktionen in LISP

Ging es im ersten Abschnitt darum, dem Leser ein gewisses „Gefühl" für den Umgang mit Listen zu vermitteln, so sollen im weiteren bestimmte, für LISP typische Strukturen im Vordergrund stehen. Die im letzten Abschnitt vorgestellten einfachen Anweisungen erlaubten die Nutzung des Interpreters gewissermaßen im „Taschenrechnermodus", d. h., die eingegebenen Anweisungen wurden sofort ausgeführt und das Ergebnis erschien auf dem Bildschirm. Dieser Rahmen soll jetzt durch die Definition anwendereigner Funktionen gesprengt werden. Die mathematische Grundlage von Funktionen in LISP bildet der λ-Kalkül (A. CHURCH, 1941). Die in LISP verwendete LAMBDA-Funktionsdefinition erlaubt eine saubere Trennung der Bindungsumgebungen der Parameter. Die in einer LAMBDA-Funktion gebundenen Parameter haben nur lokale Bedeutung. Das bedeutet, daß unabhängig von der globalen Bindung übergebene Parameter nur lokal verwendet werden.
Eine direkte Nutzung der LAMBDA-Funktion ist zwar möglich, wird häufig jedoch durch die elegante DEFUN-Anweisung ausgedrückt:

(DEFUN programmname (parameter) LISP-Form)

Unter einer LISP-Form werden korrekte Ausdrücke der Sprache LISP verstanden.

Beispiel:

```
(DEFUN quadrat (x) (* x x))
(quadrat 5)          ⇒ 25
```

Der Übergabeparameter x wird im Funktionskörper multipliziert und der Rückgabewert der Funktion quadrat bildet das Ergebnis der LISP-Form (* x x). Lokale Bindungsumgebung von x bedeutet, daß unabhängig von einem Wert, den x außerhalb des Funktionsaufrufes haben sollte, x innerhalb der Funktion an den aktuellen Parameter (im Beispiel 5) gebunden wird. Die lokale Gültigkeit der Parameter hat aber auch zur Folge, daß diese Parameter nicht außerhalb der Funktion verfügbar sind.

```
(DEFUN test (x)  (SETF x (* x x))
                 (SETF y (+ 5 x)))
(test 5)             ⇒ 30
y                    ⇒ 30
x                    ⇒ Fehler: ungebundene Variable
```

Das heißt, lokal hat x den Wert (* x x), global ist aber nur y verfügbar.
Falls an eine Funktion Variable übergeben werden, so wird diese Variable ausgewertet, d. h., ihr Wert wird ermittelt, danach erfolgt die Übergabe an die Funktion. Dieser Übergabemechanismus entspricht einem „Call by value".

Beispiel:

(SETF z 10)		z := 10
(test z)	⇒ 105	Ergebnis des Funktionsaufrufs test(z)
z	⇒ 10	globale Bindung von z bleibt erhalten
y	⇒ 105	y wurde global an 105 gebunden

Um kompliziertere Funktionen als die bisherigen Beispiele zu definieren, ist notwendig, eine Reihe von Prädikaten und Verzweigungsbefehlen zur Beeinflussung des Programmablaufes bereitzustellen. In LISP gibt es eine überaus reiche Menge derartiger Konstrukte, so daß auch hier wieder eine Auswahl getroffen werden mußte.

2.1.1. Prädikate

2.1.1.1. Numerische Prädikate

In LISP stehen auch die aus anderen Programmiersprachen gewohnten Prädikate zum Testen auf Gleichheit, Ungleichheit, ... zur Verfügung.

Prädikat	Beispiel		
(< x y)	(< 4 5)	⇒ T	(wahr)
(> x y)	(> 4 5)	⇒ NIL	(falsch)
(= x y)	(= 4 4)	⇒ T	
(<= x y)	(<= 5 6)	⇒ T	
(>= x y)	(>= 5 6)	⇒ NIL	

Zur Typprüfung existiert beispielsweise das Prädikat NUMBERP. (NUMBERP x) ergibt T falls x eine Zahl ist, sonst NIL.

2.1.1.2. Prädikate auf Listen

Außer den numerischen Prädikaten existieren in LISP auch Prädikate auf Listen. So ist es z. B. wichtig zu wissen, ob eine Liste nach einer Manipulation leer wurde. Ebenso häufig kommt der Test auf Gleichheit zweier Listen zum Einsatz. Diese Prädikate sind in einer Listenmanipulationssprache, als die LISP ja ursprünglich gedacht war, implementiert.

(NULL x)	⇒ T ;wenn x = leere Liste
(LISTP x)	⇒ T ;wenn x vom Typ Liste ist
(EQUAL x y)	⇒ T ;wenn x = y (vergleicht zwei Listen)

Eine schwächere Form von EQUAL bildet EQ, mit dem im wesentlichen nur zwei atomare Objekte auf Gleichheit getestet werden können. In LISP gibt es noch eine Reihe weiterer Prädikate auf Listen, die aber hier aus Platzgründen nicht vorgestellt werden können. Andere Prädikate, die sich auf spezielle Datentypen, wie Strings, Vektoren usw. beziehen, werden in späteren Abschnitten behandelt.

2.1.1.3. Logische Verknüpfungen

Eng im Zusammenhang mit den Prädikaten stehen die logischen Verknüpfungen wie AND, OR, NOT. Neben der Bedeutung als logische Operatoren haben AND und OR in LISP zusätzlich noch den Charakter einer Kontrollstruktur.

(AND form1 form2 ... formk)   ⇒ NIL/Wert der formk

Die AND-Anweisung führt zu einer Auswertung der LISP-Formen, solange keine formi ($1 <= i <= k$) den Rückgabewert NIL hat (also können auch andere Formen als Prädikate ausgewertet werden). Der Wert der AND-Anweisung ist dann gleich dem Wert der letzten Form. Wird die Auswertung infolge eines NIL einer formi abgebrochen, so hat die gesamte AND-Anweisung den Wert NIL.
Die OR-Anweisung wertet die LISP-Formen sequentiell aus, bis eine formi einen Rückgabewert <> NIL hat.

(OR form1 form2 ... formk) ⇒ NIL/Wert einer formi, der <> NIL

Beispiel:
Test ob x im Intervall (10, 20] liegt
(AND) (> x 10) (<= x 20))

Die NOT-Anweisung hat genau dann den Wert true (T), wenn der Wert der form = NIL ist.

(NOT form)

Nutzt man als LISP-Formen in Anweisungen AND, OR, NOT nur Prädikate, also Funktionen mit dem Rückgabewert T oder NIL, so verhalten sie sich genau wie gewöhnliche logische Verknüpfungen. Die Bedeutung als Kontrollstruktur kommt nur zum Tragen, wenn die verwendeten LISP-Formen „wirkliche" Funktionen sind.

2.1.2. Strukturierende Befehle

Den wichtigsten strukturierenden Befehl in LISP bildet die Spezialform COND. Sie hat folgende Gestalt:

(COND test1 form1
test2 form2 ...
testk formk)

Bei Einsatz von COND werden sequentiell die „tests" ausgewertet und bei einem true (T) wird die zugehörige Form ausgewertet. Der Rückgabewert der COND-Anweisung ist dann der Wert der entsprechenden „form". Konnte kein „test" erfolgreich ausgewertet werden, so ist der Rückgabewert der COND-Anweisung NIL.

Beispiel:
(SETF x 3)
(COND ((> x ∅) 'positiv)
((< x ∅) 'negativ)
(T 'null)) ⇒ positiv

Das im COND-Ausdruck verwendete T ist immer wahr, steht also für „sonst".
Weitere moderne Konstrukte zur Beeinflussung des Programmablaufes in LISP (die aber nicht so universell wie die COND-Anweisungen sind) bilden:

(WHEN test form)	⇒ wenn test=T, dann wird die form ausgewertet
(IF test form1 form2)	⇒ wenn test=T, dann form1, sonst form2
(UNLESS test form)	⇒ wenn test=NIL, dann form
(IFN test form1 form2)	⇒ wenn test=NIL, dann form1, sonst form2.

Darüber hinaus gibt es noch eine CASE-Anweisung, auf die aber hier nicht eingegangen werden soll. Im weiteren erfolgt eine Beschränkung auf die sehr ausdrucksstarke COND-Anweisung.

(wird fortgesetzt)

F. Roß

PROLOG — eine Einführung für Automatisierungstechniker 3

2.1.4. Listen

Eine Liste ist eine geordnete Folge von Elementen beliebiger Länge. Elemente können Terme, d. h. Konstanten, Variablen, Strukturen und selbst wieder Listen sein. Eine Liste ohne Elemente ist eine leere Liste.
Eine Liste besteht aus dem Listenkopf (Erst-Element) und Listenrumpf (Restliste). Besitzt eine Liste nur ein Element, dann ist die Restliste die leere Liste.
Eine Liste ist eine spezielle Struktur, was durch die Schreibweise verdeutlicht wird. Da zwischen den Listenelementen keine Relation ausgedrückt werden soll, wird als Funktor ein Punkt gesetzt. Zu beachten ist, daß diese Schreibweise konsequent bis zur leeren Restliste angewendet wird.

Beispiele:
[] (leere Liste)
.(a, [ ])
.(a,.(b,.(c,[ ])))
.(a,.(.b,.(c,[ ])),.(d,[ ]))

Wie jede Struktur können auch Listen grafisch dargestellt werden (Bild 7).
PROLOG erlaubt eine einfachere Schreibweise für Listen. Dabei werden die Elemente, durch Kommata getrennt, in eckige Klammern eingeschlossen.

Beispiele:
[a]
[a, b, c]
[a, b, c, d].

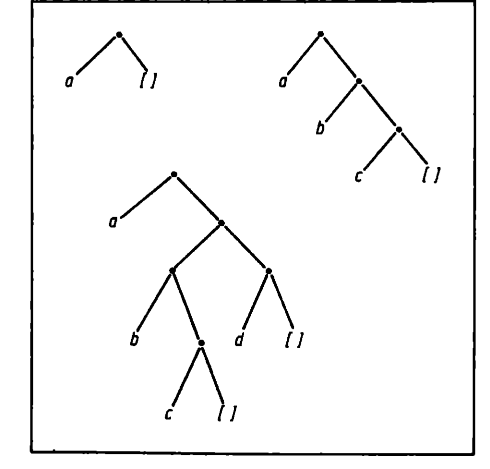


Bild 7. Grafische Darstellung von Listen

Bild 8 zeigt das Syntaxdiagramm.
Zur Trennung des Erst-Elementes und der Restliste dient hierbei der Listenseparator. Dieser Operator hat das Symbol „|" und damit die Liste die Gestalt
[Erst-Element | Restliste].
In Tafel 2 wird die Wirkungsweise des Listenseparators verdeutlicht. Hierbei werden die Liste 1 und die Liste 2 gleichgesetzt und die Wirkung anhand der instanzierten Variablen gezeigt.
Im Abschnitt 5. wird die Listenverarbeitung noch genauer erläutert.
Im Abschnitt 1. wurden stillschweigend die Begriffe Fakten, Regeln und Anfragen verwendet, ohne näher auf deren syntaktische Regeln einzugehen. Im folgenden werden diese drei Klauselformen näher beschrieben.

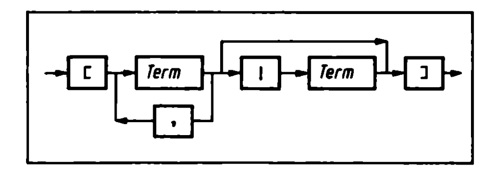


Bild 8. Syntaxdiagramm Liste

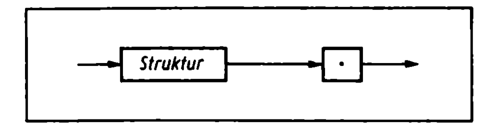


Bild 9. Syntaxdiagramm Fakt

2.2. Fakten

Fakten sind allgemein bekannte Tatsachen. Sie beschreiben Beziehungen zwischen Objekten. Ein Fakt besteht aus:
— einem vor der runden Klammer stehenden Prädikat (Relation)
— den durch runde Klammern eingeschlossenen und durch Kommata getrennten Objekten (Argumente)
— einem abschließenden Punkt.

Vergleicht man den Fakt mit der Struktur, so kann man vereinfacht sagen, daß der Fakt eine durch einen Punkt abgeschlossene Struktur darstellt, wobei ein Fakt im allgemeinen keine Variablen enthält (Bild 9).

Beispiele:
funktionstuechtig(anlage_6).
kann_bearbeiten(anlage_1,2,30).
enthaelt('PC1715',schaltkreis('U880',hergestellt(mme,1987))).

Die Reihenfolge der Argumente ist beliebig und kann vom Programmierer festgelegt werden. Sie muß jedoch bei der weiteren Verwendung dieser Klausel beachtet werden. Der Fakt

sind_verbunden('PC1715','K6311').

entspricht nicht dem Fakt

sind_verbunden('K6311','PC1715').

Ist es während der Programmabarbeitung möglich, daß z. B. der Term 'PC1715' bei Aufruf dieses Prädikates sowohl das erste, als auch das zweite Argument sein kann, so sind für ein erfolgreiches Verlassen dieses Prädikates entweder beide Fakten in die Wissensbasis aufzunehmen, oder es ist eine Regel anzuwenden (siehe Abschnitt 2.3.).

2.3. Regeln

Regeln stellen die Abhängigkeit einer Aussage von einer Menge anderer Aussagen dar. In PROLOG wird eine Regel eingeteilt in

— Regelkopf
— Regelrumpf.

Der Regelkopf beinhaltet die Konklusion der Regel (dann ...) und stellt formal eine Struktur dar. Der Regelrumpf als Prämisse (wenn ...) beinhaltet durch Kommata getrennte Strukturen, wobei die Kommata eine Und-Verknüpfung der Strukturen bedeuten. Das Implikationszeichen wird durch den Operator „:—" dargestellt. Abgeschlossen wird eine Regel mit einem Punkt.

Regelkopf :— Regelrumpf.
Konklusion :— Prämisse 1, Prämisse 2, ..., Prämisse n.

Tafel 2. Listenoperationen

Liste 1	Liste 2	instanzierte Variablen
[anlage_6]	[X | Y]	X = anlage_6 Y = []
[ich, [gehe | X]]	[Y,Z,nach, hause]	X = [nach,hause] Y = ich Z = gehe
[]	[X | Y]	fail (keine Lösung)

Eine Regel wird durch Aufruf ihres Regelkopfes aktiviert. Der Beweis der Aussage im Regelkopf gelingt, wenn die Wahrheit aller Einzelaussagen im Regelrumpf nachgewiesen werden kann. PROLOG-Regeln beinhalten meist Variablen, die während des Beweisvorganges instanziert werden.

Beispiele:
```
kann_aus_dem_Lager_entnehmen(X,Y) :—
                    funktionstuechtig(X),
                    kann_bearbeiten(X,Y).
koennen_verbunden_werden(Geraet1,Geraet2) :—
                ist_Rechner(Geraet1),
                ist_Drucker(Geraet2),
                hat_Schnittstelle(Geraet1,Schnittstelle),
                hat_Schnittstelle(Geraet2,Schnittstelle).
```

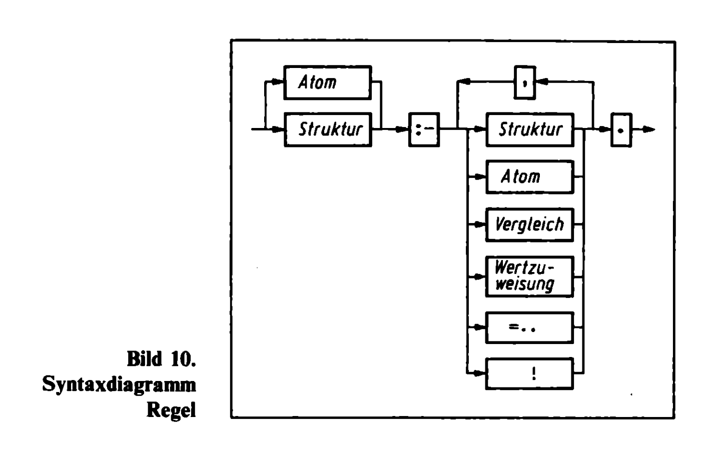


Bild 10. Syntaxdiagramm Regel

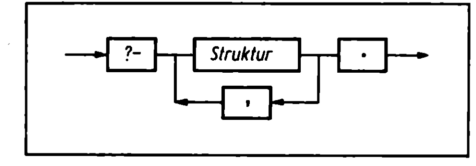


Bild 11. Syntaxdiagramm Frage

Bild 10 zeigt das zugehörige Syntaxdiagramm.
Regeln können auch verwendet werden, um die Menge der Fakten in der Wissensbasis zu begrenzen. Dies führt zu einer Speicherplatzeinsparung, aber gleichzeitig auch zu einer Verringerung der Abarbeitungsgeschwindigkeit. Die Regel

sind_verbunden(X,Y) :—sind_verbunden(Y,X).

würde z. B. das Problem aus Abschnitt 2.2. lösen, ohne weitere Fakten in die Wissensbasis einfügen zu müssen.

2.4. Fragen

An eine Wissensbasis, auch wenn sie leer ist, können Anfragen gestellt werden. Diese Anfragen werden auch Ziele genannt. Eine Anfrage besteht aus
— dem Frageoperator „?—"
— durch Kommata getrennte Aussagen (Teilziele)
— einem abschließenden Punkt.

Bild 11 zeigt das Syntaxdiagramm.

Beispiele:
?—kann_bearbeiten(anlage_1,2,In_wieviel_Minuten).
?—verbunden(X,Y),funktionstuechtig(X),funktionstuechtig(Y).

Nach der Eingabe einer Frage versucht das PROLOG-System die Wahrheit der Aussagen (Teilziele) in ihrer Reihenfolge anhand der Wissensbasis unter Instanzierung eventuell vorhandener Variablen zu beweisen. Gelingt der Beweis aller Teilziele, antwortet das System mit den Variableninstanzierungen und mit „YES". Durch Eingabe eines Semikolons kann die Suche nach einer weiteren Lösung veranlaßt werden. Beim ersten Mißlingen des Beweises eines Teilzieles antwortet das System mit „NO".

(wird fortgesetzt)

Jahrestagung der WGMA 1988

Am 15. und 16. Dezember 1988 fand in Magdeburg die Jahrestagung der WGMA statt. Standen bisher stets alternierend die Automatisierungs- und die Meßtechnik auf dem Programm, rückte der Veranstalter nun erstmals eine weitergehende Thematik, nämlich die „Rechnergestützten Planungs- und Leitungsprozesse", in den Mittelpunkt dieser Veranstaltung, die sich als wissenschaftlicher Jahreshöhepunkt der WGMA versteht. Anliegen war es, zur genannten Thematik den derzeitigen wissenschaftlichen Stand, die Anwendungsmöglichkeiten und die zu erwartenden Entwicklungen zu präsentieren. In vier neunzigminütigen Überblicksvorträgen wurde zu folgenden Komplexen berichtet:

1. Die Aufgaben der Organisationsprojektierung unter den Bedingungen der Automatisierung (Ch. Anspach, J. Hoffmann, R. Keil, H. Schneider)
2. Stand und Tendenzen automatisierter Systeme der Leitung in der Industrie (G. Voigt)
3. Software-Technologie, -Zuverlässigkeit und -Sicherheit — Stand und Tendenzen (F. Baldeweg, D. Balzer, W. Kriesel, F. Müller)
4. Die Automatisierung der Informationsverarbeitung auf dem Gebiet der Leitung und Planung (J. Picht)

Heft 11/88 der msr war offizielles Tagungsmaterial. Die vier Vorträge sind dort in komprimierter Darstellung nachzulesen. Deshalb sollen hier schlagwortartig nur einige der herausgearbeiteten Tendenzen und Schwerpunkte aufgelistet werden:

— Wachsender internationaler Konkurrenzkampf und steigende volkswirtschaftliche Bedürfnisse (Qualität der Erzeugnisse, Flexibilität und Effektivität der Fertigung) zwingen zum Einsatz rechnergestützter, automatisierter Systeme für die betriebliche Planung und Leitung. Ziel ist dabei die rasche, präzise und weitreichende Unterstützung der für die Entscheidungsfindung Verantwortlichen.
— Die umfassende betriebliche Automatisierung basiert auf der flexibel automatisierten Fertigungstechnik, rechnergestützten Prozessen in der Produktionsvorbereitung und dem rechnergestützten System der Produktionsplanung und -steuerung. Mittler zwischen diesen Komponenten ist die Organisation, deren Wirksamkeit durch geeignete Organisationsprojektierung beeinflußt werden kann. Für diese Organisationsprojektierung muß ein einsetzbares methodisches Instrumentarium geschaffen werden.
— Automatisierte Systeme der Leitung sind als Bestandteil von CIM-Systemen aufzubauen und zu betreiben. Als hierarchisch strukturierte Systeme sollen sie sich von der langfristigen Planung bis zur Überwachung und Steuerung der Fertigung und von der Forschung und Entwicklung bis zur Abrechnung der Produktion erstrecken. Dabei ist unbedingt zu sichern, daß die Teilsysteme in den einzelnen Hierarchieebenen in abgesteckten Grenzen voll eigenverantwortlich entscheiden und handeln können.
— In die CIM-Systeme sind Redundanzkonzepte einzubeziehen. Die Informationen sollten in zentralen Datenbanken oder Informationsfonds abgelegt sein und mit Hilfe von Beratungs- und Expertensystemen bedarfsgerecht aufgearbeitet werden können.
— Die Rechentechnik geht zunehmend als programmierbarer Bestandteil in die Automatisierungssysteme ein. Mit dem steigenden Anteil der Software an den Gesamtaufwendungen wächst die Bedeutung der automatisierungsspezifischen Softwaretechnologie (Prozeßanalyse, Algorithmierung, Programmierung, Wartung (Betreiben)). Bei ihrer Gestaltung sind folgende zentrale Qualitätsmerkmale zu berücksichtigen: Zuverlässigkeit, Sicherheit, Wiederverwendbarkeit, Nutzerfreundlichkeit, Änderbarkeit, Testbarkeit. Dies betrifft sowohl die hardwarenahe Basissoftware als auch die hardwareferne Applikationssoftware. Nicht zuletzt sind Maßnahmen zur Einbeziehung von Fehlertoleranzstrategien zu treffen.
— Bei der Entwicklung von Software für integrierte Informationsverarbeitungssysteme ist durch Programmkonstruktion die planmäßige Mehrfachnutzung mit Hilfe geeigneter Softwareproduktionsumgebungen zu sichern. Diese bilden die technische, organisatorische und programmtechnische Basis einer Softwaretechnologie. Es existieren ein sprachorientierter, ein methodenorientierter und ein komplexer Ansatz für Softwareproduktionsumgebungen.

Ein weiterer Tagesordnungspunkt der Jahrestagung bestand in der Auswertung des XI. IMEKO-Weltkongresses, der vom 16. bis 21. Oktober 1988 in Houston/Texas (USA) stattgefunden hatte. Die Auswertung nahm der Tagungsleiter und WGMA-Vorsitzende, Prof. Dr. sc. techn. W. Richter, vor, der einer der DDR-Teilnehmer am Kongreß war (s. dazu msr, Berlin 32 (1989) 4 und 5). Den Abschluß der Jahrestagung bildete wie stets eine Podiumsdiskussion zum Inhalt der Beiträge, von der rege Gebrauch gemacht wurde.

Mit mehr als 300 Teilnehmern war die Jahrestagung der WGMA gut besucht. Es offenbarte sich ein erfreulich großes Interesse an der für die WGMA traditionell bisher nicht so im Mittelpunkt stehenden Thematik. Die gut organisierte Tagung stellte einen nützlichen Baustein im wissenschaftlichen Leben der WGMA dar.

msr 8933 D. Werner

CIM — Fabrik mit Zukunft — Bericht von der Hannovermesse Industrie 1988

1. CIM-Präsentationen auf der Hannovermesse

Aus dem vielfältigen Angebot auf der Hannovermesse Industrie (20. bis 27. April 1988) wurde der thematische Schwerpunkt „CIM — Fabrik mit Zukunft" gewählt, der sich auf die Bereiche

1. INTERMATIC — Systempräsentation „Fertigungsnahe System- und C-Techniken"
2. MIKROTRONIC — Bausteine der Elektronik und deren Herstellung mit Unterstützung von CAD, CAE, CAM
3. Weltmarkt Elektronik und Elektrotechnik mit elektrischen Automatisierungsmitteln für die Funktionen Messen, Prüfen, Steuern und Regeln zur materiellen Absicherung der CAM-Vorhaben
4. Internationaler Kongreß „CIM — Fabrik mit Zukunft" (25. und 26. April 1988)

konzentrierte.
Der nachfolgende Bericht betrifft die Bereiche 1 und 4.

2. Leistungsbeiträge von Ausstellern im Leitzentrum INTERMATIC

13 namhafte internationale Unternehmen und weitere Firmen zeigten alle wesentlichen Funktionsbereiche der Produktionsautomatisierung und demonstrierten im firmenübergreifenden Verbund die Verknüpfungsfähigkeit fertigungsnaher Systemtechniken und rechnergestützter Verfahren (sogenannte „C-Techniken"). Mit dieser dargestellten Integration aller wichtigen CIM-Bausteine, für die sich etwa 220000 Besucher interessierten, sollte der Weg zur „Fabrik mit Zukunft" gezeigt und der Wandel von der CIM-**Diskussion** in eine realistische Phase der praktischen **Umsetzung** und Anwendung dargestellt werden. Es wurde betont, daß beim heutigen Spektrum der angebotenen System- und C-Techniken, bei der Vielfalt der angebotenen Hardware-, Software- und Netzwerkkomponenten die Realisierung eines durchgängigen rechnergestützten Bearbeitungs- und Informationsflusses in der Fertigung schrittweise bis hin zur Gesamtintegration möglich ist. Der Initiator der Ausstellung, Dipl.-Ing. K.-H. Kontny, vertrat die Ansicht, daß neben dem „C" für die Computer-Techniken in der Fertigung und dem „C" für Control Systems (rechnergestützte Steuerungen wie CNC, SPS usw.) das „C" für Communications (Netzwerktechniken im Industriebereich) sowie das „C" für Connectivity (die Verbundfähigkeit von Produktionsinseln) voll abgedeckt werden.

Einzelbeiträge von Ausstellern der INTERMATIC-Ausstellung

Das *Institut für Produktionstechnik und Automatisierung Stuttgart* (BRD) stellte mehrere Lösungen vor:

- ein leitlinienloses flexibles **Transportsystem SOFTWIRE** mit Ultraschallsensoren und optoelektronischen Sensoren, das die momentane Fahrzeugposition aus dem Vergleich der Umgebung mit dem gespeicherten Hallenplan erkennt
- das **dialogorientierte Programmsystem ATEXI,** das den Bereich der Auftragsdisposition in automatisierten, flexiblen Fertigungssystemen (zwischen der betrieblichen Produktionsplanung und Steuerung PPS und der operativen Steuerung des automatisierten Fertigungsprozesses) ausfüllt
- ein ereignisorientiertes **Produktionsprozeß-Steuerungssystem PROPOSS** für die informations- und steuerungstechnische Integration sämtlicher Untersysteme einer hochautomatisierten Fertigung.

Mit diesen Lösungen werden wichtige Prozesse in unterschiedlichen Hierarchieebenen automatisiert.
Digital Equipment (*DEC*, USA) demonstrierte ein Anwendungsbeispiel aus der Produktionsüberwachung im international vernetzten *DEC*-Produktionsverbund (diesem Thema war auch ein Beitrag beim CIM-Kongreß gewidmet). Darüberhinaus wurden Systeme für die Integration von Fertigungsprozessen in die VAX- und ETHERNET-Welt demonstriert.
DEC präsentierte mit **VAXlab** die neue Systemfamilie für die Datenerfassung und -analyse im Labor (Familie kompletter Workstations für den wissenschaftlichen Nutzer). Sie kombiniert Echtzeit-Hardware und -Software, Programmbibliotheken für die Signalverarbeitung, mathematische und statistische Auswertung sowie umfangreiche grafische Möglichkeiten.
NCR (BRD) zeigte die Planung und Kontrolle einer Baugruppenproduktion mit dem **PPS-System NCR IMMAC** und dem Betriebsdatenerfassungssystem **NCR DPS 5.** Damit wird der Auftragsablauf von der Auftragsplanung über die Konstruktion und Auftragsfreigabe bis zur Produktion gesteuert.

Zwei weitere Firmen stellten Lösungen aus dem Bereich der **Qualitätssicherung** vor. Die Fa. *WIDMANN Sicherungsanlagen* (BRD) zeigte drei Serienprodukte der Bilddatenverarbeitung:

- Applikation einer Prüfeinrichtung von Bremsleitungen (hierzu wurde auch ein Vortrag beim CIM-Kongreß gehalten) Prüfmerkmale der attributiven Auswertung waren dabei der Querschnitt und die Ansicht der Anschlußstelle (Bördel).
- Vermessung von rundsymmetrischen Teilen (Rotor- und Statorbleche) mit übergeordneter CAQ-Auswertung (CAQ Computer Aided Quality Assurance) Die Meß- und Prüfeinrichtungen sind in den vollautomatischen Prüfprozeß integriert.
- 3D-Oberflächenmessung.

Die Fa. *WILLE Automatisierungstechnik* (BRD) zeigte die Verbindung zwischen Maschinensteuerungen, Qualitätsdatenauswertung, Fertigungssteuerung und kommerzieller Datenverarbeitung (Systeme **WA 2000** und **SETUP 2000).**
Von der Fa. *NEXUS GmbH* wurde ein **Expertensystem Nexpert** als CAQ-Lösung vorgestellt.
Ein wesentlicher Schwerpunkt der Ausstellung INTERMATIC war erwartungsgemäß der **Verbund rechentechnischer Ressourcen.** *ALLEN-BRADLEY* (USA) stellte das **MAP 3.0-Starter-Paket** vor (MAP 3.0 Manufacturing Automation Protocol, Version 3.0, vorgestellt im Multivendorprojekt anläßlich des Enterprise Networking Event '88 International/Enterprise Conference, Baltimore, Maryland/USA vom 5. bis 9. Juni 1988). Das ausgestellte Starter-Paket wurde als Subnetzwerk zum INTERMATIC-Breitbandkommunikationsnetzwerk installiert. Dabei handelte es sich um eine Mini-MAP-Version (Carrierband-Netzwerk). Die Carrierband-MAP-Schnittstelle belegte einen freien Steckplatz der speicherprogrammierbaren Steuerung PLC-3 der gleichen Firma. Der Anschluß an das Breitbandnetz erfolgte über Breitband-NIU (NIU Network Interface Unit). Die SPS kommunizierte über dieses Netzwerk mit den genannten Einrichtungen der Firmen *WILLE* und *WIDMANN*.
Folgende Funktionen der Kommunikation werden ermöglicht:

- Lesen eines speziellen Files von einer anderen Station
- Schreiben in einen speziellen File einer anderen Station
- Empfang von Prozessorzustandsänderungen
- Austausch von kompletten Programmen und Diagnoseergebnissen über angeschlossene Stationen.

Das MAP-Starter-Paket ist das erste Produkt der Produktfamilie **Vista MAP,** die Remodulatoreinheit, Breitband- und Carrierband-Modems und Breitband- sowie Basisband-Bridges enthält.
Es wurde die Erwartung geäußert, daß die Version 3.0 von MAP für die nächsten 6 Jahre stabil bleiben wird.
APPLE COMPUTER (USA) präsentierte mit *KETTLER EDV-Consulting* (BRD) das **Programmpaket VersaCAD,** eine an Systeme der Firmen *NCR* und *COSCOM* gekoppelte Lösung, die auf dem Macintosh-CAD-System basiert. Mit der neuen Macintosh-Generation (1987 eingeführt) soll eine problemlose Kommunikation zwischen den anwender- und grafikorientierten Macintosh-Geräten einerseits und Großrechnern, Mini- und Superminicomputern andererseits möglich sein.
BULL (USA) unterstrich mit drei rechnergestützten Lösungen die Leistungsfähigkeit beim Verbundbetrieb:

- **CAD/CAM-System STRIM 100** für die Konstruktion mechanischer Elemente mit 3D-Flächen- und Volumenmodell, Anwendung der Finite-Elemente-Methode und für die NC-Programmierung Konstruktion und Fertigung sind technisch miteinander verbunden. Über das CAD-System bearbeitete Konstruktionsergebnisse werden umgehend durch eine 3-Achsen-Fräsmaschine ausgeführt.
- **DNC-System DIMAC,** das NC-Programme speichert, verwaltet und den CNC-Maschinen zur Verfügung stellt
- **Betriebsdatenerfassungssystem TASC** für die personalbezogene Zeiterfassung, auftragsbezogene Rückmeldung und dezentrale Fertigungssteuerung.

Die Anwendung dieser Lösungen wurde im Vortrag von H.-W. Eckhardt im Rahmen des CIM-Kongresses dargelegt.
Unter dem Motto „Vom Baustein zur Gesamtlösung" präsentierte die *COSCOM Computer GmbH* (BRD) zusammen mit verschiedenen Systempartnern ihre Beiträge zur Systemintegration, die insbesondere auf mittelständische Betriebe abzielten:

- **3D-CAD/CAM Arbeitsplatz** mit direkter DNC-Verbindung zur Werkzeugmaschine (Fräsmaschine)
- **Produktionsdaten-Management-System** (mit MS-DOS-Betriebssystem) mit Anschluß von Terminals der Betriebsdatenerfassung, Maschinendatenerfassung, Qualitätssicherung und der CNC
- **NC-Programmiersystem** neuester Generation für werkstattorientierte Programmierung
  Die Handhabung ist durch eine dreistufige Benutzeroberfläche sehr stark vereinfacht.
- diverse Lösungen des zugehörigen Datenverbundes.

Von der Fa. *Informatik-Systemtechnik* (BRD) wurde das **Lichtwellenleiternetzwerk PERNET,** ein schnelles Kommunikationssystem mit international genormten Schnittstellen, das schon heute die Vernetzung bestehender Anlagen mit ökonomisch und technisch vertretbarem Aufwand ermöglichen soll, gezeigt. Das Exponat enthielt 400 m Lichtwellenleiterkabel (*Lapp-Hitronic*) und 15 Fibre Optic Communications Computer (FOCC).
Das im Leitzentrum INTERMATIC verwendete **Breitbandnetzwerk SOPHO-LAN M** (gemeinsame „Kommunikationsschiene" für alle vernetzten Leitzentrumsteilnehmer) wurde von *Philips Kommunikationsindustrie PKI* (BRD) installiert. Diesem offenen Breitbandnetz lag der Standardentwurf IEEE 802.7 zugrunde (auch Grundlage weiterer Exponante verschiedener Hersteller). Dabei wurden Standardkomponenten der Breitbandübertragungstechnik eingesetzt, die unterschiedlichsten Applikationen im Netz parallel betrieben und eine Netzüberwachung zur Gewährleistung einer hohen Zuverlässigkeit verwendet. Die Anschlußeinheiten (Device Adapter) arbeiten auf der Grundlage des Token-Passing-Bus (Standard ISO 8802.4) und bilden damit eine Voraussetzung für künftige MAP-Produkte. Die verwendete Datenübertragungsrate betrug 10 MBaud.
Die *COMSY GmbH* (BRD) zeigte zusammen mit den Firmen *Appli Data* und *Honeywell IPC* die flexible Vernetzung von Steuerungen und Rechnern am Beispiel eines Fertigungsmodells. Als gemeinsames Übertragungssystem diente **COMSY-NET,** ein dem SINEC H1 kompatibles ETHERNET-Netzwerk, in dem die Systemkomponenten durch Koppelprozessoren, die direkt in die Rückwandbusse gesteckt werden, verbunden sind. Die Systemkomponenten waren **SPS S5 135 U** mit **CP 535** (Fa. *Siemens*) zur Steuerung des Fertigungsmodells, **SPS IPC 620** (Fa. *Honeywell IPC*) mit **Koppelprozessor INM** zur Steuerung des Fertigungsmodells, **Industrie PC** (XT, AT) mit **Koppelprozessor CNC** (*Appli Data*) zur Steuerung des Fertigungsmodells und ein industrielles Meßwerterfassungssystem (*Appli Data*).
Das *Forschungsinstitut Industrielle Bildverarbeitung Hannover FIBH* (BRD) präsentierte folgende Bildverarbeitungssysteme:

- Präzisionswinkelmessung zur Qualitätsprüfung und Justierung von Werkzeugen
- Inspektion von Leiterplatten (damit auch Beteiligung am Applikationsfirmenverbund „Leiterplattenproduktion")
- Identifikation und Positionsbestimmung von Produktionsteilen.

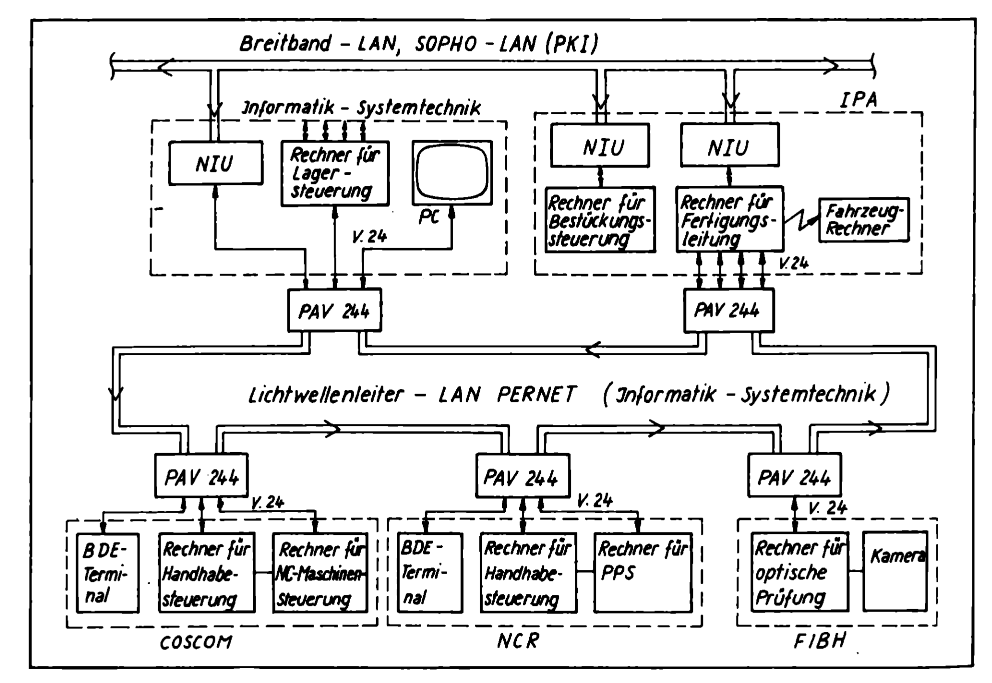
Diese Systeme sind wesentliche Bestandteile von CAM-Projekten.

3. Applikationsbeispiel Leiterplattenproduktion

Zur praxisnahen Demonstration der Integration heterogener technischer Mittel hatten sich 13 Unternehmen im INTERMATIC-Leitzentrum zu mehreren Applikations-Teilnehmergruppen zusammengeschlossen. Ihnen standen ein Breitbandnetzwerk (SOPHO-LAN M von *Philips, PKI*) und ein Basisbandlichtwellenleiternetzwerk (PERNET von *Informatik-Systemtechnik*) zur Verfügung. In der Teilnehmergruppe 1 wurde von 5 Unternehmen eine automatische Leiterplattenproduktion mit Modellcharakter vorgeführt. Die gezeigten technischen Ressourcen waren

- 5 Bearbeitungsstationen
- 1 fahrerloses Transportsystem
- 1 verbindendes Netzwerk.

Bild. Topologie des Applikationsbeispiels Leiterplattenproduktion
NIU Netzwerk-Interface-Einheit; PAV 244 Kommunikationsrechner mit vier V.24-Anschlüssen (Basis: FOCC Fibre Optic Communications Computer); PC Personalcomputer (hier angewendet zur Visualisierung von Prozeßdaten); LAN Lokales Netzwerk; PPS Produktionsplanung und -steuerung; BDE Betriebsdatenerfassung



Für den automatischen Betrieb dieser Ressourcen trugen folgende Firmen die Verantwortung:

- Entwurf und mechanische Bearbeitung (Fräsen) der Leiterplatten (*COSCOM*)
- Bestücken und Löten der Leiterplatten (*Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, IPA*)
- optische Prüfung (*Forschungsinstitut für Industrielle Bildverarbeitung, FIBH*)
- Transportsystem (*IPA*)
- Lagerung von Bauelementen und Leiterplatten getrennt in Palettenmagazinen (*Informatik-Systemtechnik, IS*)
- Fertiglagerung bzw. Verpackung (*NCR*).

Die operative Steuerung des technologischen Prozesses (Fertigungssteuerung) wurde vom *IPA*, die Visualisierung des Prozeßablaufes von *IS* und die Produktionsplanung und -steuerung von *NCR* beigesteuert. Die Rechnerressourcen wurden mittels der verfügbaren Kommunikationssysteme (SOPHO-LAN von *PKI*, PERNET von *IS*) vernetzt. Das Bild zeigt die Topologie des Rechnernetzes des Applikationsbeispiels. Man erkennt, daß dieses Applikationsbeispiel einer CAM-Lösung bereits wesentliche Elemente einer CIM-Lösung enthält.

4. Internationaler Kongreß „CIM — Fabrik mit Zukunft"

4.1. Übersicht

Der von Prof. H. J. Warnecke, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung, inhaltlich vorbereitete Kongreß beinhaltete folgende Schwerpunkte mit insgesamt 11 Vorträgen:
- CIM-Bausteine, -Konzepte, -Strategien (6 Vorträge)
- Leittechnik in Verfahrens- und Produktionsautomatisierung (5 Vorträge).

Dabei ging es vorrangig um systemtechnische Fragen, Kompatibilität und Informationssysteme, nicht um produktionstechnische Lösungen. Die einzelnen Vorträge enthielten jeweils Aussagen zur Begriffsbestimmung von CIM und zur gewählten Spezifik des Vortrages.

4.2. Wesentliche Aussagen

Computer Integrated Manufacturing (CIM) wird als *Denkmodell* aufgefaßt, um mit den Möglichkeiten der modernen Informationstechnologien integrierend Informationen von und über alle betroffenen Bereiche eines Betriebes bereitzustellen und mit dem Ziel zu nutzen, zu minimalen Kosten bei größtem Nutzen bedarfsgerecht fertigen zu können (H. J. Warnecke). CIM ist also die integrierende Betrachtungsweise von Mensch, Prozeß und Organisation (A. Gairola) durch

- Herstellen der richtigen Beziehungen zwischen Informationsquelle und -senke (Ziel: korrekte, konsistente und zeitrichtige Verteilung der Informationen)
  Das geht nur durch Verknüpfung der Insellösungen zu Netzwerken.
- angeglichenen Materialzulauf (Ziel: kein hoher Materialbestand, keine Leerlaufzeiten, kein Ausfall)
  Beim Materialfluß sollte eine Abstimmung der einzelnen Organisationseinheiten erfolgen (Fertigungseinheit — Transporteinheit — Lagereinheit — Zuführeinheit — Montageeinheit), um eine Quasi-Fließfertigung zu erreichen. An den Materialflußschnittstellen ist dann ein automatisches Handhaben durchzusetzen.
- Einsatz kompatibler Technologien (Ziel: Systemflexibilität, kontinuierlicher Material- und Arbeitsfluß, zeitlich abgestimmte Fertigungslinie).

A. Gairola empfiehlt ein *CIM-Referenzmodell* mit 3 Schichten, die wie folgt von oben nach unten definiert sind:

Application Layer mit 3 Funktionsbereichen
- Verwaltungs- und Planungsaufgaben (Business Systems)
- Produkt- und Prozeßgestaltung (Design to Build)
- Prozeßausführung (Production Systems)

Integration Support Layer
Ebene der Systeme für
- Datenkommunikation
- Datenaufbereitung
- Datenarchivierung usw.

Service Layer
Ebene der benutzten Teillösungen wie
- Treiberbausteine für Hardware
- Betriebssysteme
- Netzwerksysteme
- Datenbanksysteme
- Programmiersprachen
- Maskengeneratoren.

In jeder Ebene können Implementierungen unabhängig voneinander vorgenommen werden. Zwischen den Ebenen sind klar definierte Schnittstellen erforderlich. Als Voraussetzungen für CIM nennt H. J. Warnecke:
- Überdenken der Aufbau- und Ablauforganisation
- Neugestaltung von Arbeitsinhalten
- Reduzierung der Schnittstellen.

Dazu gehört, daß die Produkte datentechnisch so beschrieben werden, daß die Informationen darüber ohne Umsetzung durch den Menschen in einer Verfahrenskette weiterzuverarbeiten sind (vom Auftrag bis zum Versand, von der Idee bis zum fertigen Produkt). S. Waller forderte dazu die datentechnische Verknüpfung mittels moderner Kommunikationssysteme und eine hierarchische Strukturierung, um die Kommunikationslast in Grenzen zu halten. Dabei wird die Verknüpfung wie folgt unterschieden:

- für die Einzelfertigung enge Kopplung zwischen CAE und CAM (von der Idee zum Produkt)
- für die Massenfertigung enge Kopplung zwischen PPS und CAM (vom Auftrag bis zum Versand).

Zwei Integrationsrichtungen werden verfolgt:

- *vertikale Integration/Kommunikation*
  Von der Betriebsleitung zum Produktionsprozeß ist ein ständiger Informationsaustausch erforderlich, der möglichst gering und zeitunkritisch sein sollte (maximale Autarkie der Ebenen).
- *horizontale Integration/Kommunikation*
  Datentransfer innerhalb einer Hierarchieebene zwischen selbständigen funktionellen Einheiten
  Dazu sind die Schnittstellen inhaltlich und physikalisch klar zu definieren.

Anzustrebende Ziele hinsichtlich der Arbeitsausführung sind eine *minimale Zeit je Auftrag* (nicht je Arbeitsgang) und die *maximale Nutzung der Betriebsmittel* in dem jeweiligen Zeitintervall. Dabei kommt es auf eine integrierte Betrachtung des Bedarfs- und des Kapazitätsaspektes an. Der Weg zu CIM wird von A. Gairola wie folgt beschrieben:

1) Rechnerstützung von Routineaufgaben, Rechnerausstattung, Rechnervernetzung
   Dazu ist Kompatibilität von Hard- und Software notwendig.
2) Analysieren: Verstehen und Beherrschen; Sicherung der Transparenz des Prozesses, der Korrektheit der Prozeßdurchführung, der Einfachheit und Überschaubarkeit des Prozeßaufbaus
3) Simplifizieren: Standardisieren, Modularisieren
   Die Modularität der technischen Voraussetzungen ist zu sichern. Das betrifft die Arbeitsplatzausstattung, die arbeitsplatznahe Infrastruktur (z. B. arbeitsplatznahes lokales Kommunikationsnetz), die zentrale Infrastruktur (z. B. zentrales lokales Kommunikationsnetz) sowie die externe Infrastruktur (z. B. öffentliches Weitverkehrsnetz). In diesen modularen technischen Bedingungen werden noch allgemeine Hintergrundsysteme verwendet: universelle Rechner, unterschiedliche Datenbasen, Archive, elektronische Post u.-a.
4) Automatisieren: automatisierte Prozesse in allen Hierarchieebenen des Betriebes
   Dabei ist es vorteilhaft, auch zeitkritische und prozeßnahe Informationsverarbeitung mit modularer Software zu sichern, die nur wenig objektspezifische Anpassung erfordert. Derzeit wird von einem Verhältnis von 50% Standardsoftware und 50% objektspezifischer Software ausgegangen.
5) Integrieren.

Für den Erfolg von CIM, so wurde in mehreren Beiträgen festgestellt, ist es zwingend erforderlich, eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten zu fördern. Die Informationen gehören nach Auffassung der Vortragenden den Betrieben und nicht den sie erzeugenden Abteilungen. Die Rechner sind nicht zur Kontrolle der Mitarbeiter eingesetzt, sondern dienen diesen als Arbeitsinstrument.
Breiten Raum nahm beim CIM-Kongreß die Gestaltung von Fertigungsleitständen und Kommunikationssystemen als Bausteine von CIM-Lösungen ein. Der *Leitstand* wird da-

bei als integriertes System der Produktionsautomatisierung verstanden (J. HEINECKE). Die Aufgaben bestehen in

- der ständigen Aktualisierung des Fertigungsabbildes im Rechnersystem durch direkte Erfassung des Fertigungsablaufs über Meßwerterfassungssysteme, Betriebsdatenerfassungssysteme (Terminals) oder durch mobile Teileidentifikationssysteme
- direkte Datenversorgung der rechnergeführten Fertigungseinheiten sowie Ausgabe von Arbeitsanweisungen an die Bediener über Terminals (papierlose Fertigung im Betrieb)
- (optimale) Steuerung des Fertigungsablaufes (bedarfsorientierte Fertigung, starke Rechnerstützung der Logistik).

Als Leitstandsfunktionen werden genannt:

- Auftragseinsteuerung
- Fertigungsüberwachung und -steuerung (Übernahme von Fertigungsaufträgen in die Zeitintervalle, Auswahl der einzelnen Arbeitsgänge, Anforderung von Material und Werkzeugen)
- Produktionsanlagenüberwachung (Störungsstatistik, Trendanalyse, Maschinenauslastung)
- Auskunft
- Instandhaltungssteuerung (Verwaltung von Standzeiten der Betriebsmittel, Personaleinsatzplanung und -steuerung)
- Anlagenvisualisierung (Fließbilder u. a.)
- Ersatzstrategie für Roboter
- zentrale Programmverwaltung und -pflege (für SPS, Robotersteuerungen, CNC)
- Netzwerküberwachung.

Es wurde festgestellt, daß derzeit der Aufwand für die Planung und Datenpflege den Einsatz von Leitständen auf Werkstattbereiche bzw. Planungsaufgaben mit begrenztem Maschinenpark und Auftragsvolumen beschränkt.

Stellvertretend für die Kommunikationssystemlösungen sprach U. MÜLLER über den Einsatz von infrastrukturorientierten Breitbandnetzen als Vorbereitung für MAP-Anwendungen. Dabei hob er folgende charakteristische Merkmale der Breitbandnetze hervor:

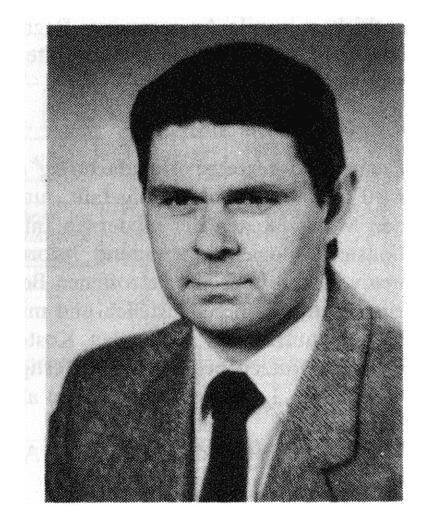
- Mehrkanaltechnik:
  Bei 450 MHz Bandbreite stehen 28 6-MHz-Kanäle zum Senden und 37 6-MHz-Kanäle zum Empfangen zur Verfügung. Damit ist die parallele Übertragung (Frequenzmultiplexbetrieb) verschiedener Nachrichtentypen wie Daten (MAP, TOP, ETHERNET, synchroner Datenaustausch in Terminal- und PC-Netzen), TV, Sprache sowie Informationen von Sicherheits- und Meldesystemen möglich.
- hohe Leistungsfähigkeit durch große Übertragungsgeschwindigkeiten:
  Je Übertragungsrichtung 5 MBaud je 6-MHz-Kanalbandbreite, 10 MBaud je 12-MHz-Doppelkanalbandbreite
  Die theoretische Obergrenze liegt für 75 Ω-Kabel bei 140 MBaud (für bidirektionale Übertragung).
- hohe Störsicherheit des Übertragungsmediums:
  Potentialunterschiede sind sicher beherrschbar.
- herstellerunabhängige Technologie nach Normentwurf IEEE 802.7 bzw. nach Norm ISO 8802.4 als Bestandteil von MAP
- Flexibilität durch Erweiterbarkeit:
  Dabei sind zu nennen:
  - Vorverkabelung jedes Raumes bis zu einer Rastergröße von 15 m × 15 m je Koaxialanschlußdose
  - Verkabelung nach Anschlußbedarf (Ausweitung des vorverkabelten Netzes)
    Von der Kopfstelle (Headend) ausgehende Leitungen (Trunks) erschließen ganze Gebäude (Hallen) neu oder einzelne Komponenten werden an existierende Anschlußstellen (wenn die Vorverkabelung diese vorsah) angeschlossen.

Deutlich wurde, daß enorme Anfangsaufwendungen erforderlich sind, um Breitbandnetze aufzubauen und damit die Voraussetzungen für die MAP-Anwendung zu schaffen. Der Kongreß „CIM — Fabrik mit Zukunft" in Verbindung mit der Sonderpräsentation im Leitzentrum INTERMATIC zeigte deutlich das Bemühen um Begriffsklärung und inhaltliche Ausgestaltung von CIM, zeigte aber auch, daß der Weg zu CIM noch weit und beschwerlich ist. Damit wurde eine alte Erfahrung aus der Ingenieurwissenschaft bestätigt, daß der Übergang von Einzellösungen zu integrierten Systemen eine neue Qualität der Ingenieurarbeit, des kollektiven Zusammenwirkens und der wissenschaftlichen Basis erfordert.

msr 9020 P. NEUMANN

Persönliches

Steffen F. Bocklisch zum Professor ernannt



Im September 1988 wurde Dr. sc. techn. ST. F. BOCKLISCH zum Professor an der Akademie der Wissenschaften der DDR ernannt. Damit fand seine langjährige, hochmotivierte und schöpferische Tätigkeit in Forschung und Lehre die verdiente Würdigung.

Die wissenschaftliche Laufbahn von ST. F. BOCKLISCH begann vor etwa 20 Jahren an der damaligen Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt. Er gehörte Ende der 60er Jahre zu den fähigsten Forschungsstudenten der Sektion Automatisierungstechnik der TH Karl-Marx-Stadt und fiel durch seinen Ideenreichtum, seine Fertigkeiten und seinen Fleiß auf.

Er hatte zu dieser Zeit die Aufgabe, unter Ausnutzung des pn-Überganges einen druckabhängigen Halbleitersensor mit dem Einsatzziel in der Pneumatik und in der Medizin zur peripheren Blutdruckmessung zu schaffen. Dieses Problem bewältigte er glänzend. Zugleich baute er mit diesem Sensor eine Kooperation zur Küchwald-Klinik in Karl-Marx-Stadt auf, die in modifizierter Form bis heute besteht. Angeregt durch das von mir 1972 gegründete Seminar „Unscharfe Modellbildung und Polyoptimierung", dem er von Anfang an als sehr aktives Mitglied angehörte, wandte er sich sehr bald der unscharfen Systemtheorie und ihrer Nutzung in den technischen Wissenschaften zu, wobei entsprechend seinen Interessen der Schwerpunkt auf qualitativen Klassifikationsmodellen und der darauf aufbauenden Diagnostik lag. Hier entfaltete er eine äußerst produktive Tätigkeit.

Er entwickelte ein Interpolationskonzept für hochdimensionale Zugehörigkeitsfunktionen auf der Grundlage der Aisermanschen Potentialfunktionen und schuf damit das leistungsfähige Diagnosesystem „EUCLID", das in verschiedenen Bereichen produktiv angewandt wird (Küchwald-Klinik, Braunkohlentagebau, Werkzeugmaschinenbau).

1984 wurde das Seminar „Unscharfe Modellbildung und Polyoptimierung" wegen des stark gewachsenen Interesses, insbesondere aus dem Hochschulwesen und der Industrie, in zwei thematisch gekoppelte Seminare aufgespalten, die zugleich die Rolle von DDR-Arbeitsgruppen übernahmen („Mehrkriterielle Entscheidungen und Optimierung" unter Leitung von Dr. J. Ester, „Unscharfe Modellbildung und Entscheidung" unter Leitung von Dr. St. F. Bocklisch). Das letztgenannte Seminar tagt monatlich, hat einen sehr aktiven Teilnehmerkreis und eine beachtliche internationale Ausstrahlung.

Kollege Bocklisch hat umfassende Erfahrungen in der Lehre. Er hat regelungstechnisch orientierte Vorlesungen und Übungen an der TU Karl-Marx-Stadt gehalten. Seit Jahren hält er Vorlesungen zur Unscharfen Systemtheorie und Anwendungen an der Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau. Er verfügt über ausgezeichnete pädagogische Fähigkeiten. Das wirkt sich auch sehr positiv auf seine Fachvorträge aus. Verdienste erwarb er sich auch in der Betreuung zahlreicher Diplomarbeiten und Dissertationen. Seit Anfang der 70er Jahre hat er sehr viele Originalarbeiten mit einem recht breiten Profil publiziert, wobei allerdings im Zentrum seines Interesses immer die unscharfe Modellbildung und Diagnostik steht. Seine Beiträge und umfangreichen Erfahrungen auf diesem Gebiet haben Eingang in eine Monographie gefunden, die 1987 im VEB Verlag Technik erschienen ist („Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren").

Es ist wegen der wachsenden Bedeutung der unscharfen Diagnoseverfahren außerordentlich zu begrüßen, daß Dr. sc. techn. St. F. Bocklisch zum Professor an der Akademie für das Gebiet „Technische Diagnostik" ernannt und zugleich mit dem Aufbau einer entsprechenden Struktureinheit im IMECH Karl-Marx-Stadt beauftragt wurde.

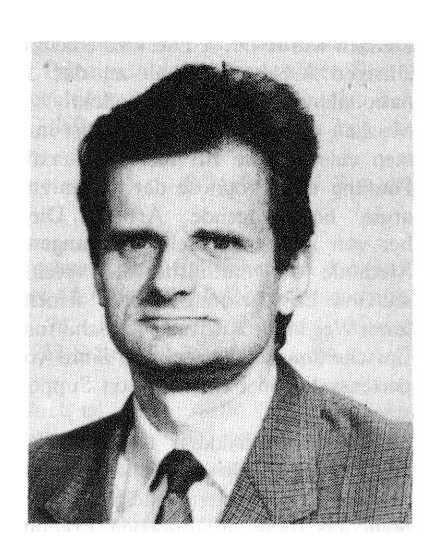
Für diese verantwortliche Aufgabe wünschen wir ihm viel Erfolg und eine breite Ausstrahlung, sowohl auf den wissenschaftlichen Nachwuchs als auch auf die in der Praxis der technischen Wissenschaften Tätigen. Möge sich auf der Grundlage der bereits in der AG „Unscharfe Modellbildung und Entscheidung" geleisteten Arbeit um Prof. Dr. sc. techn. St. F. Bocklisch eine Schule der unscharfen technischen Diagnostik bilden.

Manfred Peschel

Herzliche Glückwünsche zur ehrenvollen Ernennung unserem Autor Prof. Dr. sc. techn. St. F. Bocklisch. *Wir hoffen auf weitere schöne Beiträge für unsere Zeitschrift.*

Red. msr

Christian Döschner zum a.o. Professor berufen



Mit Beginn des Studienjahres 1988/89 wurde Dozent Dr. sc. techn. Chr. Döschner (Jahrgang 1936) zum a.o. Professor am Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen der Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik der TU „Otto von Guericke" Magdeburg berufen.

Seine Entwicklung zum anerkannten Fachmann und Hochschullehrer ist eng mit dem Aufbau und der Ausgestaltung der Fachrichtung Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der TU Magdeburg verbunden.

Nach dem Abitur 1954 und anschließender zweijähriger Facharbeiterausbildung studierte Chr. Döschner von 1956 bis 1962 in der Fachrichtung Feinmechanik/Regelungstechnik an der TH Dresden. Nach dem Diplomabschluß begann er seine Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent an der TH Magdeburg. Hier hat er entscheidend an der Aufbauphase des damaligen Institutes für MSR-Technik unter der Leitung von Prof. H. Wilhelmi mitgewirkt und engagiert an der Realisierung der ersten automatisierungstechnischen Lehrveranstaltungen gearbeitet. Sein außerordentlich rationeller Arbeitsstil und die guten Kontakte zur damaligen TH Dresden, insbesondere zum Lehrstuhl von Prof. H. Kindler, bildeten gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Entwicklung dieses jungen Fachgebietes an der Magdeburger Einrichtung. In der wissenschaftlichen Forschungsarbeit befaßte sich Chr. Döschner vom Beginn seiner Tätigkeit an mit den Fragen der Analyse und Modellbildung von zu automatisierenden Systemen, vor allem auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik und dem chemischen Apparatebau. Im Sinne der Einheit von Lehre und Forschung entwickelte er bereits Ende der 60er Jahre das junge Gebiet der theoretischen Prozeßanalyse zu einer solchen Reife, daß von ihm schon damals zahlreiche Lehrveranstaltungen dazu gehalten werden konnten. 1968 übernahm er die wissenschaftliche Führung der Arbeitsgruppe Prozeßanalyse am neu gebildeten und von Prof. H. Töpfer geleiteten Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen der TH Magdeburg. Mit seinen sehr erfolgreich verteidigten Dissertationen A (1968) und B (1977) trug er wesentlich zur Systematisierung und Entwicklung eines einheitlichen Konzeptes der theoretischen Prozeßanalyse bei. Im Rahmen der hierzu durchgeführten, weit gefächerten Forschungsarbeiten entstand eine Vielzahl von engen und tragfähigen Kontakten zu zahlreichen Industrieeinrichtungen.

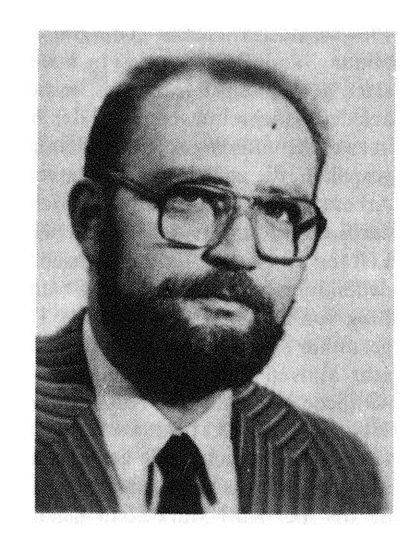
Seine fachliche Profilierung setzte Chr. Döschner mit einem Studienaufenthalt 1976/77 am Lehrstuhl bei Prof. Kafarow am Chemisch-technologischen Institut „Mendeljejew" in Moskau fort. Danach war er bis 1980 als Gruppenleiter im VEB GRW Teltow tätig und baute dort eine Arbeitsgruppe zur Projektierung von BMSR-Anlagen mit Prozeßrechnern auf. Gleichzeitig hielt er weiter verschiedene Vorlesungen zur Prozeßanalyse und Automatischen Steuerung an der TH Magdeburg. Im Februar 1980 erfolgte seine Berufung zum Hochschuldozenten für das Fachgebiet Prozeßanalyse an der Magdeburger Hochschule. Neben den umfangreichen Aufgaben in der Fachrichtungsausbildung Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik übernahm Chr. Döschner mehr und mehr Aufgaben für die Ausbildung in Automatisierungstechnik im Nebenfach für Studenten der Sektionen des Maschineningenieurwesens an der TH Magdeburg. Auf diese Weise förderte er aktiv die intersektionäre Zusammenarbeit, die gerade auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik von ausschlaggebender Bedeutung ist. Nach dem unverhofften frühen Tod von Prof. S. Rudert im Jahre 1981 übernahm Chr. Döschner diese Aufgaben vollends und trug seitdem wesentlich dazu bei, das automatisierungstechnische Denken in den technischen Anwendungsdisziplinen herauszubilden und zu verbreitern.

Seine derzeitige wissenschaftliche Forschungs- sowie Lehrtätigkeit in der FR Automatisierungstechnik sind durch das Bemühen geprägt, die Theorie der automatischen Steuerung noch wirksamer mit den neuen geräte- und programmtechnischen Möglichkeiten der Automatisierungsanlagentechnik zu verbinden. Hierzu wünschen wir Professor Döschner viel Erfolg. Möge sein kreatives und streitbares Wirken als Hochschullehrer zur Erhöhung der Praxiswirksamkeit der modernen Automatisierungstechnik weiterhin reiche Früche tragen.

Ulrich Korn

Herzliche Glückwünsche zur ehrenvollen Berufung auch von der Redaktion msr!

Jochen Ester zum a.o. Professor berufen



Im September 1988 wurde Dr. sc. techn. J. ESTER zum außerordentlichen Professor an der TU Karl-Marx-Stadt berufen.
J. ESTER zeichnete sich schon Ende der 60er Jahre als ein fähiger, progressiver Wissenschaftler mit hohen charakterlichen Qualitäten aus. Damals befand er sich noch im Forschungsstudium. Er beschäftigte sich mit der Theorie elektropneumatischer Sensoren, später mit der Polyoptimierung, der er bis heute treu geblieben ist.
Als ich im Jahre 1972 das interdisziplinäre Seminar „Polyoptimierung und unscharfe Modellbildung" gründete, war J. ESTER von Anfang an dabei und einer der aktivsten und ideenreichsten Teilnehmer. Aufbauend auf den dort empfangenen Anregungen auf dem Gebiet der Polyoptimierung konnte er 1975 erfolgreich seine Dissertation „Eine Kompromißstrategie zur statischen Optimierung additiver und vektorieller Gütekriterien" verteidigen.
Danach wurde Dr. J. ESTER zu einem mehrjährigen Arbeitsaufenthalt an das „Internationale Wissenschaftlerkollektiv" nach Moskau delegiert. Er leistete dort im Rahmen einer Studie zur rechnerunterstützten Planung und Prognose der Schwarzmetallurgie hervorragende Arbeit. Die dabei von ihm entwickelte und angewandte Methode der multikriteriellen rechnergestützten Entscheidung bahnte seinen weiteren Weg in die Richtung der Schaffung von Entscheidungshilfsmitteln im Sinne von Expertensystemen bzw. Decision Support Systems.
Nach seiner Rückkehr an die TH Karl-Marx-Stadt wurde er Oberassistent an der Sektion Automatisierungstechnik.
Seine bis dahin gewonnenen Erkenntnisse und Verfahren konnte er in einer Dissertation B „Dialogverfahren als wichtiges Hilfsmittel bei der Lösung mehrkriterieller Optimierungsaufgaben" zusammenfassen. In dieser Zeit entwarf er eine ganze Reihe eigenständiger Polyoptimierungsverfahren. Am bekanntesten ist die von ihm entwickelte antiparallele Gradientenmethode, die er endlichdimensional verallgemeinern konnte. Gemeinsam mit mir als Betreuer leistete er auch einen wichtigen wissenschaftlichen Beitrag zu „Präferenz, Effizienz und Konvexität als Grundbegriffe der Polyoptimierung".
Aus diesen Ansätzen heraus war er an der Entwicklung einer Reihe von Verfahren der sogenannten Hyperbeleffizienz sowie zu verallgemeinerten spieltheoretischen Verfahren nach dem Vorbild der Methode von GERMEIER beteiligt.
1984 übernahm Dr. sc. techn. J. ESTER die Leitung der DDR-Arbeitsgruppe „Mehrkriterielle Entscheidung" (durch Zweiteilung aus dem o. g. Seminar „Polyoptimierung und unscharfe Modellbildung" entstanden; die andere Arbeitsgruppe „Unscharfe Modellbildung und Entscheidung" leitet seither Prof. Dr. sc. techn. ST. F. BOCKLISCH). In dieser Funktion hat J. ESTER seitdem eine für die DDR bedeutsame Arbeit geleistet, die auch im Ausland anerkannt ist.
1987 erschien sein Buch „Systemanalyse und mehrkriterielle Entscheidung", das binnen kurzem vergriffen war. Es zeichnet sich durch Exaktheit der Darstellung und Praxisnähe in den zahlreichen Anwendungsbeispielen aus.
J. ESTER hat reiche Erfahrungen in der Vorlesungstätigkeit und in der Betreuung von Diplomarbeiten und Dissertationen. Dr. J. ESTER ist seit 1985 Leiter des Wissenschaftsbereiches „Regelungs- und Automatisierungstechnik" der Sektion „Automatisierungstechnik" der TU Karl-Marx-Stadt. Er hat sich stets auch hohen gesellschaftlichen Anforderungen gestellt.
Ich begrüße es sehr, daß Dr. sc. techn. JOCHEN ESTER zum außerordentlichen Professor für das Gebiet „Operative Prozeßführung" berufen worden ist.
In dieser verantwortungsvollen Tätigkeit wünschen wir ihm guten Erfolg, vor allem immer breitere Anwendungen für die von seiner Forschungsgruppe geschaffenen rechnergestützten Entscheidungshilfsmittel, denn mehrkriterielle Optimierung wird den dialektischen Widersprüchen und Zusammenhängen besser gerecht als jede Orientierung auf ein einziges Gütekriterium.

MANFRED PESCHEL

Auch wir gratulieren herzlich und wünschen weiterhin gute Erfolge.

Red. msr

Buchbesprechungen

Steuerungen in der Automatisierungstechnik. Herausgegeben vom Institut für Fachschulwesen der DDR. Gesamtredaktion und Federführung G. GRAICHEN und H. KOLB. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 312 Seiten, 220 Bilder, 25 Tafeln. 23,— M. Bestell-Nr.: 553 757 3

Zu dem bereits im gleichen Verlag erschienenen Buch „Bausteine der Automatisierungstechnik" gesellt sich nun in vergleichbarer Aufmachung der o. g. Band. Mit diesem Lehrbuch soll den Erfordernissen der Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren und vor allem Technikern entsprochen werden. Die Stoffauswahl beschränkt sich auf das notwendige Grundwissen zur Analyse und Beschreibung ablaufender Prozesse sowie das Betriebsverhalten und den sachgerechten Einsatz von Geräten und Anlagen der Automatisierungstechnik. Entsprechend der zunehmenden Bedeutung digitaler und mikroelektronischer Mittel bilden diese einen Schwerpunkt. Die ersten drei Abschnitte beschäftigen sich mit klassischen Grundlagen des statischen und dynamischen Verhaltens linearer Glieder sowie mit dem Schaltungsentwurf für speicherfreie Verknüpfungsschaltungen. Weitere Grundlagen werden unter dem Blickpunkt der Prozeßanalyse in den nachfolgenden Abschnitten behandelt. Mittel, Methoden und Verfahren werden in den wesentlichsten Grundzügen in moderner Form vorgestellt. Hierbei unterstützt eine Reihe von ausführlich behandelten Beispielen, vornehmlich aus dem Gebiet der Fertigungsautomatisierung, die Stoffvermittlung. Offene Steuerungen sowie einfache und vermaschte Regelungen werden untersucht. Verschiedene Beschreibungsmittel bis hin zum Petri-Netz werden kurz erläutert, wobei die Darlegungen wegen des Umfangs mehr eine Aufzählung bleiben. Wesentliche Literaturverweise werden gegeben.
Nach einer Einführung in die Mikrorechentechnik werden in einem weiteren Abschnitt Grundlagen digital wirkender geschlossener Steuerungen besprochen (Abtastregelungen, direkte digitale Regelungen, adaptive Regelungen), die in einem abschließenden Abschnitt über ausgewählte Steuerungen im

Maschinenbau angewendet werden. Dabei stehen speicherprogrammierte Steuerungen, numerische Steuerungen und Robotersteuerungen im Vordergrund. Diese drei typischen Vertreter der Gerätetechnik in der Fertigungsautomatisierung werden in Aufbau, Wirkungsweise, Programmierung und als ausgeführte Systeme beschrieben. Allerdings besteht in diesen Abschnitten die Gefahr, daß die beschriebenen Ausführungsmuster durch die technische Entwicklung bald überholt sind.

Das Buch bringt einen Überblick über Mittel und Verfahren der Automatisierungstechnik und orientiert vor allem in den Beispielen auf die Fertigungsautomatisierung. Damit paßt sich das Buch modernen Erfordernissen in guter Weise an. Es ist leicht verständlich geschrieben und kommt ohne mathematische Ableitungen aus. Es ist ein Lehrbuch, das für die Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren und Technikern empfohlen werden kann.

B 2417 W. FRITZSCH

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS für Praktiker. Von D. BENDA. Sindelfingen: expert verlag GmbH; Stuttgart: Frech Verlag 1986. 113 Seiten, 59 Bilder.

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), zunächst nur dafür vorgesehen, Relais- und Schützensteuerungen im mittleren Leistungsbereich durch zuverlässigere, flexiblere und dadurch insgesamt kostengünstigere Elektronik abzulösen, haben seit ihrer Innovation Ende der 60er Jahre eine außerordentlich rasche Weiterentwicklung und Verbreitung erfahren. Heute beherrschen sie in Form von Kleinststeuerungen in schützähnlicher Eingehäuse-Kompaktausführung für wenige binäre Ein- und Ausgänge bis hin zu modularen dezentral strukturierbaren Systemen zur Steuerung und Überwachung ganzer Industrieanlagen praktisch den Gesamtbereich der industriellen Automatisierung.

In diesem Buch wird der Versuch unternommen, einen breiten Leserkreis im Sinne einer Einführung über diese hocheffektive Technik zu informieren. Im einzelnen werden nach einer kurzen Erläuterung des Begriffs „speicherprogrammierbare Steuerung" der Aufbau und die prinzipielle Arbeitsweise einer SPS in knapper Form beschrieben. Anschließend wird das duale Zahlensystem erläutert, die technische Darstellung binärer Signale veranschaulicht und anhand des ASCII-Kodes die binärkodierte Repräsentation von Ziffern, Buchstaben mit Sonderzeichen verdeutlicht. Es folgen einige Bemerkungen zur Programmierung, Inbetriebnahme und zur Programmabarbeitung in einer SPS. Dann werden die logischen Elementarglieder einschließlich Zeit- und Impulsgeber bezüglich ihrer Funktion beschrieben und im darauffolgenden Abschnitt die Grundlagen der Programmierung einer SPS erläutert, d. h., die Struktur von Steueranweisungen erklärt und an einer Reihe elementarer Beispiele die Programmerstellung mittels Anweisungsliste gezeigt. Auf übliche Programmiertechniken mit grafischen Eingabefachsprachen (Kontaktplan, Funktionsplan u. a.) wird nicht näher eingegangen. Fünf sehr einfache, jedoch praktisch konkrete Beispiele ergänzen die Erläuterungen zur Programmierung. Betrachtet werden: die funktionelle Verknüpfung zweier Schütze mit gegenseitiger Verriegelung, eine Füllstandssteuerung für drei Behälter, eine Wendeschaltung für Drehstromasynchronmotoren mit Gegenstrombremsung, die Steuerung eines polumschaltbaren Motors sowie eine einfache Fahrstuhlsteuerung.

In einem Anhang findet der Leser die Symbolmenge des ASCII-Kodes, die standardisierten Sinnbilder für Programmablaufpläne sowie die Lösungen zu den in die einzelnen Abschnitte eingestreuten Übungsaufgaben.

Das Studium des Buches setzt lediglich elementare elektrotechnische Grundkenntnisse voraus. Das Buch ist damit für Aus- und Weiterbildung von Berufsschülern, Facharbeitern, Projektanten und Technikern, die Grundkenntnisse auf dem Gebiet der SPS-Technik erwerben wollen, geeignet.

B 2302 E. HABIGER

Entwurf von adaptiven Systemen. Eine Darstellung für Ingenieure. Von K.-P. SCHULZE und K.-J. REHBERG. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 244 Seiten. 33,— M. Bestell-Nr.: 553 762 9

Die adaptiven Systeme bilden eine Systemklasse, die, mißt man dies an der Zahl der in den letzten Jahren dazu erfolgten Publikationen, zu den am intensivsten bearbeiteten gehört. Demgegenüber bestehen mit der Verfügbarkeit kostengünstiger rechnergestützter Gerätetechnik praktisch erst jetzt die Voraussetzungen, anspruchsvollere Funktionen zu implementieren und somit auch adaptive Prinzipien in größerem Umfang nutzbar zu machen. Es ist daher sehr verdienstvoll und entspricht einer aktuellen Bedarfssituation, wenn sich die Autoren der Aufgabe unterziehen, dem anwendungsinteressierten Ingenieur eine ordnende und zusammenfassende Darstellung über dieses weite Fachgebiet zu geben und aufbereitete Entwurfsverfahren zusammenzustellen. Dabei war von vornherein klar, daß angesichts der Vielfalt der inzwischen vorgeschlagenen Prinzipien und dem Fehlen einer geschlossenen Theorie bei der Darstellung Kompromisse unvermeidlich sind. Nach einer knappen Einführung in die Problematik und Methodik der adaptiven Systeme wird im zweiten Kapitel die Betrachtungsweise der Empfindlichkeit eingeführt und deren Zusammenhang zur Adaption hergestellt. Der Hauptteil des Buches ist der Behandlung der adaptiven Eingrößensysteme gewidmet. Hierbei orientiert sich die Darstellung an der Unterteilung in adaptive Systeme ohne und mit Vergleichsmodell. Dementsprechend werden die Problemkreise der Identifikation, Optimierung, Modifikation und Stabilität abgehandelt sowie Darstellungen der Adaptivsteuerung, Adaptivregelung und — als Spezialfall dieser — der Extremwertregelungen gegeben.

Bei den modelladaptiven Systemen werden die Entwürfe nach dem Gradientenverfahren, nach LJAPUNOV und POPOV behandelt. Die Ausführungen werden durch Beispiele unterstützt, die vorwiegend auf eigenen Lösungen fußen. Im Schlußkapitel wird im Sinne einer Übersicht auf adaptive Mehrgrößensysteme und robuste adaptive Systeme eingegangen sowie zu Entwicklungstendenzen Stellung genommen.

Somit wird ein großer Teil der derzeit bekannten Prinzipien und Subklassen abgedeckt, wenngleich die Behandlung mit unterschiedlicher Tiefe erfolgt. Als Anregung sei vermerkt, daß dem interessierten Leser eine stärkere Wichtung der vorgestellten Lösungen zur Erleichterung der Auswahl tragfähigerer Varianten willkommen wäre.

Den Autoren ist Anerkennung für ihr mutiges Werk zu zollen, mit dem zweifellos ein wichtiger Beitrag zur Nutzbarmachung moderner Prinzipien der automatischen Steuerung gelungen ist. Der Rezensent ist sich sicher, daß dieses Buch dankbar begrüßt wird.

B 2416 W. WELLER

Meßstochastik und Störsicherheit. Ein Beitrag zur Methodik der Informationstechnik. Von F.-H. LANGE. Berlin: Akademie-Verlag 1988. 263 Seiten, 99 Bilder. 38,— M.

Das Buch ist eine aktuelle Neufassung des vom selben Autor 1983 beim VEB Verlag Technik, Berlin, erschienenen Werkes „Störfestigkeit in der Nachrichten- und Meßtechnik". Im Mittelpunkt steht die Darlegung der Methodik und Denkweise der Informationstechnik, wobei auch die historische Entwicklung gestreift wird. Ziel dieses Bandes ist es, einen Überblick über die Methoden zur Erhöhung der Störsicherheit zu geben und die Mittel darzustellen, die die Meßstochastik hierzu bereitstellt. Das Buch behandelt zunächst die relevanten mathematischen Grundlagen der Statistik, wobei anschließend die Grundbegriffe und Strategien zur Erhöhung der Störsicherheit aus der Sicht der Informationstechnik dargestellt werden. Die umfangreichsten Abschnitte 3. und 4. befassen sich mit den Beiträgen der Nachrichtentechnik und der Kybernetik, wobei erstere typisch die spektrale Betrachtungsweise, letztere die Darstellung im Zeitbereich verwenden. Ein letzter Abschnitt gibt einen Überblick über den Beitrag der Mikroelektronik, insbesondere der Prozeßrechentechnik auch unter Einbeziehung der Gedanken der künstlichen Intelligenz.

Beim Leser werden Grundkenntnisse der Signal- und Systemtheorie vorausgesetzt. Insbesondere auch wegen der Beispiele aus Problemstellungen der Praxis kann der Band sehr empfohlen werden.

B 2405 E.-G. WOSCHNI

Kurzfassungen

STRICKERT, H.; LEINWEBER, U.:

Grafisch-interaktive Systeme im Schiffsbetrieb: Anwendungen und Anforderungen

msr, Berlin 32 (1989) 3, S. 106–109

Zustandsabhängige Schiffsbetriebsoptimierung erfordert grafisch-interaktive Arbeitsweisen, wie anhand ausgewählter aktueller Aufgabenstellungen verdeutlicht wird. Zugehörige Arbeitsmittel, z. B. als Bestandteil von Prozeßleitsystemen, enthalten eine grafische Dialogkomponente und eine Datenbank, die beide in ein Echtzeitbetriebssystem eingebettet werden müssen. Die Spezifik des Schiffsbetriebes bedingt einen zugeschnittenen Entwurf von Grafiksoftware und Datenbank.

DRMOTA, M.; TICHY, R. F.:

Deterministische Approximation stochastisch-ergodischer Signale

msr, Berlin 32 (1989) 3, S. 109–113

Im Beitrag wird die stochastisch-ergodische Meßtechnik nicht von der stochastischen Seite, sondern von einem deterministischen Standpunkt aus betrachtet. Anstelle des zu erwartenden mittleren Fehlers wird der tatsächlich auftretende maximale Meßfehler abgeschätzt.
Insbesondere wird auf die Unterdrückung periodischer Störungen und auf die Messung von Kenngrößen periodischer Signale eingegangen.

MÜLLER, R.:

Bemerkungen zur automatisierungsgerechten Stellkonzeption — Voraussetzung jeder Automatisierung

msr, Berlin 32 (1989) 3, S. 113–116

Anliegen des Beitrages ist es, Bausteine in Richtung eines geschlossenen Lösungskonzepts für die Gestaltung eines automatisierungsgerechten Stelleingriffs zusammenzutragen. Es werden Aussagen zur Wahl der Prozeßführungsstrategie, zu Fließ- und Stückgutprozessen, zu Rückführwirkungen und zur Wahl des Stellprinzips bzw. -ortes getroffen. Der Beitrag endet mit einer Zusammenstellung von Empfehlungen für die Stellkonzeption.

WITTMÜSS, A.; STRAUBEL, R.:

Interaktives Programmsystem REH zur mehrkriterialen rechnergestützten Entscheidungshilfe

msr, Berlin 32 (1989) 3, S. 116–118

REH ist ein Programmsystem zur rechnergestützten Entscheidungshilfe auf der Basis mehrkriterialer (diskreter, kontinuierlicher oder gemischter) Optimierungen mittels zufälliger Suchverfahren für statische Modelle oder dynamische Prozesse mit nichtkonvexen/konkaven Zielfunktionalen und nicht-zusammenhängenden Steuerbereichen, mit dem in Menütechnik Pareto-optimale Entscheidungsvorschläge generiert werden können.

MEIER, F.-G.:

SPS 7000 — eine neue Generation speicherprogrammierbarer Steuerungen

msr, Berlin 32 (1989) 3, S. 119–123

Speicherprogrammierbare Steuerungen nehmen bei der Automatisierung der Volkswirtschaft einen wichtigen Platz ein. Die erste 16-bit-Steuerung in der DDR, die SPS 7000, wird in ihrer Struktur, ihren technischen Parametern und der Programmierung beschrieben. Außerdem werden die derzeit in Serienproduktion befindlichen Baugruppen vorgestellt. Der Anwender kann sich einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten der Steuerung verschaffen.

STRIGGOW, K.; MÖCKEL, F.:

Grundlagen, Aufbau und Anwendungen der CTD-Sonde

msr, Berlin 32 (1989) 3, S. 123–128

CTD-Sonden sind Standardgeräte der Ozeanographie zur Bestimmung von Salzgehalt und Dichte von Meerwasser aus den direkten Meßwerten von Leitfähigkeit, Temperatur und Druck. Im Beitrag wird der Aufbau der Sonden, speziell der Meßkette OM 75 vom Institut für Meereskunde der AdW der DDR, erläutert. Besonders wird auf Kalibrierung und Prüfung der Sensoren eingegangen, die wegen der hohen Anforderungen an Genauigkeit und Langzeitkonstanz unter rauhen Einsatzbedingungen eine hervorragende Bedeutung haben.

Резюме

STRICKERT, H.; LEINWEBER, U.:

Графические интерактивные системы в судовом режиме: применение и требования

msr, Berlin 32 (1989) 3, стр. 106—109

Оптимизация судового режима в зависимости от состояния требует графических интерактивных рабочих режимов, как показано на примере выбранных актуальных заданий. Принадлежащие рабочие средства, как напр. как составная часть систем управления процессов, содержат графическую составляющую диалога и банк данных, которые оба должны быть включены в операционную систему, работающую в реальном масштабе времени. Специфика судового режима требует соответствующего проектирования графического матобеспечения и банка данных.

DRMOTA, M.; TICHY, R. F.:

Детерминистическая аппроксимация стохастических эргодических сигналов

msr, Berlin 32 (1989) 3, стр. 109—113

В статье стохастическая эргодическая техника измерения рассматривается не с точки зрения стохастики, а с точки зрения детерминистики. Вместо ожидаемой, средней погрешности проводится оценка фактически появляющейся максимальной погрешности измерения.
В частности, отмечается подавление периодических помех, а также измерение показателей периодических сигналов.

MÜLLER, R.:

Замечания по концепции установки, пригодной для автоматизации — предпосылка для каждой автоматизации

msr, Berlin 32 (1989) 3, стр. 113—116

Целью данной статьи является собрание блоков для закрытого концепта решения для оформления воздействия установки, пригодного для автоматизации. Указаны высказывания по выбору стратегии руководства процессом, по процессам поточных и штучных изделий, по действиям обратного хода, а также по выбору принципа и места установки. Статья заканчивается составлением рекомендаций для концепции установки.

WITTMÜSS, A.; STRAUBEL, R.:

Интерактивная программная система REH для решающего пособия со многими критериями при помощи вычислительной машины

msr, Berlin 32 (1989) 3, стр. 116—118

REH представляет собой программную систему для решающего пособия при помощи вычислительной машины на основе оптимизации со многими критериями (дискретным, непрерывным или смешанным) посредством случайных методов поиска для статических моделей или динамических процессов с невыпукловогнутыми целевыми функционалями и несвязанными управляющими диапазонами, при помощи которой в рамках техникимению могут быть генерированы парето-оптимальные предложения решения.

MEIER, F.-G.:

Программируемые контроллеры SPS 7000 — новое поколение программируемых управлений

msr, Berlin 32 (1989) 3, стр. 119—123

Программируемые контроллеры занимают важное место в области автоматизации народного хозяйства. В статье описано первое 16-иразрядное управление в ГДР, SPS 7000, его структура, технические параметры и программирование. Кроме того, представлены блоки, находящиеся, в настоящее время, в серийном производстве. Потребитель получает обзор о возможностях применения управления.

STRIGGOW, K.; MÖCKEL, F.:

Основы, построение и применения зондов СТД

msr, Berlin 32 (1989) 3, стр. 123—128

Зонды „СТД“ являются стандартными приборами океанографии для определения содержания соли и плотности морской воды из прямых измеряемых значений проводимости, температуры и давления. В статье пояснено построение зондов, специально измерительной цепи ОМ 75 института океанографии Академии наук ГДР. Специально отмечены калибровка и испытание датчиков, имеющих важное значение в связи с высокими требованиями к точности и долговременному постоянству в жестоких условиях применения.

Summaries

STRICKERT, H.; LEINWEBER, U.:

Graphical Interactive Systems in Shipping Operation: Applications and Requirements

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 106—109

State-dependent shipping operation optimization requires a graphic interactive way of working as it becomes apparent by current problems selected. Corresponding means, e.g. as part of process control systems, contain a graphic dialog component and a data base which are to be incorporated into a real-time operating system. The specific conditions of the shipping operation lead to a special design of the graphics software and the data base.

DRMOTA, M.; TICHY, R. F.:

Deterministic Approximation of Ergodic Stochastic Signals

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 109—113

The authors do not consider the ergodic stochastic measurement technique from a stochastical point of view but from a deterministic one. Instead of the root-mean-square error to be expected they estimate the maximal measurement error actually arising. The suppression of periodic perturbations and the measurement of periodic signal characteristics are treated in particular.

MÜLLER, R.:

Remarks on an Automation-oriented Control Conception — Prerequisite of any Automation

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 113—116

The author tries to put together elements of an over-all solution concept for the design of an automation-oriented control input. Statements are derived for the selection of the process control strategy, for continuous and discontinuous technological processes, for the feedback effects as well as for the selection of the control principle and the location, respectively. Finally, a list of recommendations for the control conception is given.

WITTMÜSS, A.; STRAUBEL, R.:

Interactive Program System REH for Computer-Aided Multiple Criterion Decision

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 116—118

REH is a program system for computer-aided decision on the basis of multiple criterion (discrete, continuous or mixed) optimizations by means of random search methods for static models or dynamic processes and with non-convexe/concave object functionals and non-connected control domains, REH allowing the generation of Pareto-optimal decision proposals by means of a menu technique.

MEIER, F.-G.:

SPS 7000 — a New Generation of Programmable Binary Controls

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 119—123

Programmable controls are very important in industrial automation. The author describes the structure, technical parameters and the programming of the GDR's first 16-bit control SPS 7000. Furthermore the packages now produced by series production are presented. Thus the user can get a survey of the application possibilities of the control.

STRIGGOW, K.; MÖCKEL, F.:

Fundamentals, Construction and Applications of the CTD Probe

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 123—128

CTD probes are standard devices of the oceanography for determining the salinity and density of sea water from the direct measurement values of conductivity, temperature and pressure. The authors explain the construction of the probes especially the measurement chain OM 75 of the Institute for Oceanography of the Academy of Sciences of the GDR. They deal in particular with the calibration and test of the sensors which have a high importance due to the outstanding requirements for accuracy and long-time constancy under rough conditions of use.

Résumés

STRICKERT, H.; LEINWEBER, U.:

Les systèmes interactifs graphiques en service de bateau: applications et exigences

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 106—109

L'optimisation dépendante de l'état du fonctionnement de bateau exige des modes de travail interactifs graphiques comme on voit à l'aide de problèmes actuel choisis. Les moyens correspondants, par exemple comme parties de systèmes de guidage de processus, contiennent une composante de dialogue graphique et une base des données qu'il faut incorporer dans un système d'exploitation en temps réel. Les conditions spécifiques du service de bateau exigent un projet spécialisé du logiciel graphique et de la base des données.

DRMOTA, M.; TICHY, R. F.:

Approximation déterministe de signaux stochastiques ergodiques

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 109—113

Les auteurs ne considèrent pas la technique de mesure stochastique ergodique à partir d'un point de vue stochastique mais d'un point de vue déterministe. Au lieu de l'erreur quadratique moyenne à attendre, ils estiment l'erreur maximale en effet apparaissante. La suppression des perturbations périodiques et la mesure des caractéristiques de signaux périodiques sont particulièrement traitées.

MÜLLER, R.:

Remarques sur un concept de commande orienté sur automatisation — condition préalable de n'importe quelle automatisation

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 113—116

L'auteur essaye de mettre ensemble des éléments pour un concept de solution total du projet des entrées de commande orientées sur automatisation. Il dérive des propositions pour le choix de la stratégie de guidage de processus, pour les processus continus et discontinus, pour l'effet de retours ainsi que pour le choix du principe ou bien du lieu de commande. La contribution est terminée par une liste de recommandations pour le concept de commande.

WITTMÜSS, A.; STRAUBEL, R.:

Système de programmes interactif REH pour la décision à plusieurs critères assistée par ordinateur

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 116—118

REH est un système de programmes pour la décision assistée par ordinateur sur la base d'optimalisations (discrètes, continues ou mixtes) à plusieurs critères pour les modèles statiques ou les processus dynamiques avec fonctionnelles buts non convexes/concaves et domaines de commande non connexes, REH permettant de créer des propositions de décision optimales en sens de Pareto à l'aide d'une technique de menu.

MEIER, F.-G.:

SPS 7000 — une nouvelle génération des commandes binaires programmables

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 119—123

Les commandes programmables sont très importantes dans l'automatisation industrielle. L'auteur décrit la structure, les données techniques et la programmation de SPS 7000 qui est la première commande à 16 bits en RDA. De plus, les ensembles à présent fabriqués en série sont présentés. De cette manière, l'usager peut obtenir un aperçu des possibilitiés d'emploi de la commande.

STRIGGOW, K.; MÖCKEL, F.:

Fondements, construction et applications de la sonde CTD

msr, Berlin 32 (1989) 3, pp. 123—128

Les sondes CTD sont dispositifs standard de l'océanographie pour la détermination de la salinité et de la densité de l'eau de mer à partir de valeurs de mesure directes de conductivité, température et pression. Les auteurs expliquent la construction des sondes, particulièrement de la chaîne de mesure OM 75 de l'institut d'océanographie de l'académie des sciences de la RDA. Ils traitent en particulier le calibrage et le test des capteurs qui sont très importants à cause de hautes exigences de la précision et de la constance à long terme sous rudes conditions d'emploi.

Neue Bücher aus der UdSSR

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Problemy informacionnych sistem (Probleme von Informationssystemen). Meždunar. centr nauč. i techn. informacii.
Vyp. 6. 2. Quart. 1989. NK 88-24 (100)
Vyp. 7. 4. Quart. 1989. NK 88-24 (101).

[2] Problemy mašinostroenija i avtomatizacii (Probleme des Maschinenbaus und der Automatisierung). Meždunar. centr nauč. i techn. informacii.
Vyp. 26. 2. Quart. 1989. NK 88-24 (101a)
Vyp. 27. 2. Quart. 1989. NK 88-24 (102)
Vyp. 28. 4. Quart. 1989. NK 88-24 (103)
Vyp. 29. 4. Quart. 1989. NK 88-24 (104)
Vyp. 30. 4. Quart. 1989. NK 88-24 (105).

[3] Malpas, Dž.: Reljacionnyj jazyk PROLOG i ego primenenie. (Relationssprache PROLOG und ihre Anwendung. Übers. aus dem Engl.). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-24 (517).

[4] Ljung, L.: Identifikacija sistem. Teorija dlja pol'zovatelej. (Identifikation von Systemen. Theorie für Anwender. Übers. aus dem Engl.). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-24 (531).

[5] For, A.: Vosprijatie i raspoznavanie obrazov (Aufnahme und Erkennung von Mustern. Übers. aus dem Franz.). Mašinostroenie. 1. Quart. 1989. NK 88-25 (2).

[6] Pun, L.: Promyšlennye sistemy iskusstvennogo intellekta (Industrielle Systeme der künstlichen Intelligenz. Übers. aus dem Franz.). Mašinostroenie. 3. Quart. 1989. NK 88-25 (3).

[7] Gel'merich, R.; Švindt, P.: Vvedenie v avtomatizirovannoe proektirovanie (Einführung in die automatisierte Projektierung. Übers. aus dem Deutsch.). Mašinostroenie 2. Quart. 1989. NK 88-25 (11).

[8] Karberri, P.: Personal'nye komp'jutery v avtomatizirovannom proektirovanii (PC in der automatisierten Projektierung). Mašinostroenie. 1. Quart. 1989. NK 88-25 (12).

[9] Avtomatizirovannoe proektirovanie sistem upravlenija (Automatisierte Projektierung von Steuerungssystemen). Mašinostroenie. 2. Quart. 1989. NK 88-25 (29).

[10] Asfal', R.: Roboty i avtomatizacija proizvodstva (Roboter und Automatisierung der Produktion. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 3. Quart. 1989. NK 88-25 (30).

[11] Spravočnik po promyšlennoj robototechnike (Nachschlagwerk zu Industrierobotern. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 4. Quart. 1989. NK 88-25 (35).

[12] Gol'c, G.: Avtomatizirovannoe rabočee mesto (Rechnerunterstützte Arbeitsplätze. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 3. Quart. 1989. NK 88-25 (38).

[13] Kocarev, Ju.: Estestvennaja forma dialoga c EVM (Natürlicher Dialog mit der EDV-Anlage). Mašinostroenie. 2. Quart. 1989. NK 88-25 (40).

[14] Timofeev, A.: Robototechnika i informatika (Robotertechnik und Informatik). Mašinostroenie. 3. Quart. 1989. NK 88-25 (47).

[15] Ul'man, Dž.: Bazy dannych na PASKALE (Datenbasen in PASCAL. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 1. Quart. 1989. NK 88-25 (48).

[16] Skurichin, V.; Zabrodskij, V.; Kopejčenko, Ju.: Adaptivnye sistemy upravlenija mašinostroitel'nym proizvodstvom (Adaptive Systeme zur Steuerung der Maschinenbauproduktion). Mašinostroenie. 2. Quart. 1989. NK 88-25 (67).

[17] Proektirovanie optimal'nych technologičeskich sistem mašin (Projektierung optimaler Maschinensysteme). Mašinostroenie. 2. Quart. 1989. NK 88-25 (88).

[18] Pospelov, G.: Iskusstvennyj intellekt — osnova novoj informacionnoj technologii (Künstliche Intelligenz-Grundlage der neuen Informationstechnologie). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 88-25 (310).

[19] Avtomatika i vyčislitel'naja technika. (Automatik und Rechentechnik.) Ausg. 17a. Vyšejšaja škola (BSSR). 4. Quart. 1988. NK 88-27 (101).

[20] Kibernetika i vyčislitel'naja technika (Kybernetik und Rechentechnik). Naukova dumka (USSR).
Vyp. 82. 2. Quart. 1989. NK 88-27 (124).
Vyp. 81. 1. Quart. 1989. NK 88-27 (125).
Vyp. 84. 4. Quart. 1989. NK 88-27 (126).
Vyp. 83. 3. Quart. 1989. NK 88-27 (127).

[21] Vjazgin, V.; Fedorov, V.: Matematičeskie metody avtomatizirovannogo proektirovanija (Mathematische Methoden der automatisierten Projektierung). Vysš. škola. 3. Quart. 1989. NK 88-27 (348).

[22] Gorelik, A.; Skripkin, V.: Metody raspoznavanija (Methoden der Mustererkennung). Vysš. škola. 1. Quart. 1989. NK 88-27 (350).

[23] Poliščuk, Ju.; Chon, V.: Teorija avtomatizirovannych bankov informacii (Theorie automatisierter Informationsbanken). Vysš. škola. 2. Quart. 1989. NK 88-27 (413).

[24] Sovetov, B., Jakovlev, S.: Modelirovanie sistem (Systemmodellierung). Vysš. škola. 1. Quart. 1989. NK 88-27 (434).

[25] Vorob'ev, V., Elsukov, A.: Teorija i eksperiment (Theorie und Experiment). Vyšejšaja škola (BSSR). 1. Quart. 1989. NK 88-28 (34).

[26] Gorstko, A.: Matematičeskoe modellirovanie (Mathematische Modellierung). Izd-vo Rostov. un-ta. 4. Quart. 1988. NK 88-28 (35).

[27] Val'vačev, A.; Krisevič, V.: Programmirovanie na jazyke PASKAL' dlja personal'nych EC EVM (Programmierung in PASCAL auf EC PC). Vyšejšaja škola (BSSR). 4. Quart. 1989. NK 88-28 (91).

[28] Vyčislitel'nye seti. Vyp. 5. Malye lokal'nye seti (Rechnernetze. Ausg. 5: LAN). Zinatne (LatvSSR). 2. Quart. 1989. NK 88-28 (92).

[29] Avtomatika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 18 (Automatik und Rechentechnik. Ausg. 18). Vyšejšaja škola (BSSR). 4. Quart. 1989. NK 88-28 (128).

msr 8993

Impressum

messen · steuern · regeln

Herausgeber: Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Verlag: VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon 2 87 00; Telex: 011 222 8 techn dd

Verlagsdirektor: Dipl.-Ing. Klaus Hieronimus

Redaktion: Dr.-Ing. Dietrich Werner, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2 87 03 62)
Dr.-Ing. Jürgen Wede, Redakteur (Telefon: 2 87 03 74)

Gestaltung: Veronika Becker

Lizenz-Nr.: 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

AN (EDV): 15 936

Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft

Heftpreis: 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza, 5820

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

Bezugsmöglichkeiten:

DDR: sämtliche Postämter

SVR Albanien: Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Bruga Konference e Pezes, Tirana

VR Bulgarien: Direkzia R.E.P., 11 a, Rue Paris, Sofia

VR China: China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

ČSSR: PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedicia a Dovoz Tlaće, Posta 002 885 47 Bratislava

SFR Jugoslawien: Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarako Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb

Koreanische DVR: CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

Republik Kuba: Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

VR Polen: C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

SR Rumänien: D.E.P. Bucureşti, Piaţa Scienteii, Bucureşti

Ungarische VR: P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest

UdSSR: Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

SR Vietnam: XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

BRD und Berlin (West): ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

Österreich: Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

Schweiz: Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstraße 109, 8033 Zürich

Alle anderen Länder: örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

Abnahmebedingungen:

Die Redaktion veröffentlicht nur Originalbeiträge. Für Nachdrucke, Übersetzungen oder Vervielfältigungen jeglicher Art gilt der Rechtsvorbehalt. Die Redaktion behält sich Änderungsvorschläge bei der Beitragsbearbeitung vor. Die Beiträge müssen generell mit einer Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes oder der Institution der Autoren versehen sein.

Bei der Anfertigung von Beiträgen sind unbedingt die Manuskripthinweise zu beachten. Diese sind dem Heft 1/1989, S. 45, zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung der Manuskripthinweise bildet die Voraussetzung für eine zügige und sachgerechte Beitragsbearbeitung.

Tagungen der WGMA 1989

Die Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft (WGMA) in der KDT veranstaltet 1989 die folgenden Tagungen:

▶ *Anwendersymposium zur Vorstellung des RVS K 1840 für potentielle Nutzer*
Ende März in Leipzig

Darstellung der Eigenschaften des Systems zur effektiven Vorbereitung des Einsatzes.
Schwerpunkte:
- Konzeption und Konfiguration der Hardware
- Betriebssysteme SVP 1800 und MUTOS 1800
- Compiler und Standardsoftware
- Einsatzbedingungen

▶ *5. IFAC/IFORS-Symposium „Komplexe Systeme — Theorie und Anwendungen"*
"Large Scale Systems — Theory and Applications"
29. bis 31. August 1989 in Berlin

Schwerpunkte:
- Modelling and model reduction
- Stability, robustness, integrity
- Decentralized control and estimation
- Knowledge based/expert/decision-support systems
- Man-LSS-process interaction
- LSS demands on computer architecture

▶ *3. Internationale Fachtagung über Automatische Bildverarbeitung CAIP '89*
"Computer Analysis of Images and Patterns"
8. bis 10. September 1989 in Leipzig

Schwerpunkte:
- Fast signal processing
- Image modelling
- Algorithms
- AI techniques in image understanding
- Applications
- Implementations

▶ *3. IFAC-Workshop „Echtzeitprogrammierung"*
"Real Time Programming"
18. bis 20. Oktober 1989 in Berlin

Schwerpunkte:
- Software engineering in real-time programming
- Specifications of real-time software systems
- Languages for real-time programming
- Programming methodologies and environments for real-time systems
- Parallel computers in real-time application
- Expert systems for real-time applications

▶ *12. Wissenschaftlich-Technische Konferenz „Automatisierungssysteme"*
16. bis 17. November 1989 in Magdeburg

Schwerpunkte:
- Automatisierungssysteme
- Kommunikationssysteme
- LAN und Feldbussysteme und Möglichkeiten ihrer Kombination
- Neue gerätetechnische Lösungen für Automatisierungsanlagen auf der Basis von 16-bit-Systemen in Kopplung mit technischen Prozessen
- ASIC-Anwendung in der Automatisierungstechnik

▶ *18. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik"*
12. bis 14. Dezember 1989 in Rostock

Schwerpunkte:
- Modellierung und Simulation in der Informatik
- Modellierung und Simulation in der Ökonomie
- Methoden der Modellierung kontinuierlicher Systeme
- Grundlagen der Modellierung und Applikation
- Rechentechnische Unterstützung für Entscheidungshilfen

▶ *Jahrestagung der WGMA „Sensorik für Prozeßgrößen — Stand und Tendenzen"*
19. bis 20. Dezember 1989 in Desden

Schwerpunkte:
- Temperaturmeßtechnik
- Druckmeßtechnik
- Analysenmeßtechnik
- Feuchtemeßtechnik
- Optische Sensoren

Anfragen richten Sie bitte schriftlich an:

Kammer der Technik — Präsidium
WGMA Postfach 1315
Berlin
DDR-1086
Tel.: 2 26 52 18, 2 26 53 04.

6. Tagung „Meßinformationssysteme"

Die o. g. Tagung (mit internationaler Beteiligung) findet in der Zeit vom 29. bis 31. März 1989 in Karl-Marx-Stadt statt. Sie wird von der TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Informationstechnik, in Verbindung mit dem Bezirksvorstand der KDT Karl-Marx-Stadt veranstaltet. Anmeldungen und Anfragen sind zu richten an:

Kammer der Technik
Tagungsorganisation
Annaberger Str. 24
Karl-Marx-Stadt
9001.

Tagungsbände CAQ '88

Die Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik veranstaltete vom 17. bis 19. März 1988 in Leipzig das *Internationale Messesymposium „Rechnergestützte Qualitätssicherung CAQ '88*, das im In- und Ausland ein breites Echo fand. Die Tagungsbände
- Plenarverträge (331 Seiten)
- Poster (185 Seiten)
- KDT-INQUAMESS Software-Paket (252 Seiten)

geben einen guten Einblick in die wachsende Vielfalt von CAQ-Werkzeugen, -Systemen, -Diagnose, -Strategien, -Anwendungen und -Trainingsmaßnahmen.
Die große Nachfrage erforderte die Herausgabe einer zweiten Auflage der Tagungsbände. Für einen Unkostenbeitrag von 80,— M können sie unter folgender Anschrift bestellt werden:

Kammer der Technik — Präsidium, WGMA
PSF 1315, Berlin, 1086.

Wissenschaftliche Fortschritte der Gerätetechnik und Gerätetechnologie

Die Sektion Biomedizinische Technik und Gerätetechnik der TU Dresden veranstaltet vom 27. bis 30. März 1990 in Dresden die XII. Internationale Tagung „Wissenschaftliche Fortschritte der Gerätetechnik und Gerätetechnologie".
In fast 100 Fachvorträgen werden neueste Erkenntnisse zu Forschung, Entwicklung, Konstruktion und Technologie auf dem Gebiet der Gerätetechnik von Fachleuten des In- und Auslandes zur Diskussion gestellt.
Thematische Schwerpunkte:
- Elektronische Gerätetechnik
- Präzisionsgerätetechnik
- Biomedizinische Gerätetechnik
- Gerätetechnologie

Das ausführliche wissenschaftliche Programm und organisatorische Hinweise werden mit dem Einladungsheft bekanntgemacht.
Anfragen richten Sie bitte an:

Technische Universität Dresden, Sektion Biomedizinische Technik und Gerätetechnik — Tagungsbüro
Mommsenstr. 13, Dresden, DDR-8027
Tel.: 4 63 47 42, Telex: 0 22 78.

Fachtagungen des KDT-Bezirksverbandes Suhl

Der Bezirksverband Suhl der KDT veranstaltet die folgenden Fachtagungen:

3. Fachtagung „Elektrowärme"
22. und 23. März 1989 in Suhl
Themenschwerpunkte:
- Entwicklungstendenzen, rationelle Energieanwendung in Elektrowärmeprozessen, Industrieöfen, Trocknungsanlagen
- Fragen der Temperaturregelung und Automatisierung elektrothermischer Prozesse
- Einsatz von Rechentechnik

2. Fachtagung „Rechnergesteuerte Antriebe"
26. bis 28. April 1989 in Suhl
Themenschwerpunkte:
- Präzisionsantriebe für den Gerätebau und technologische Spezialausrüstungen
- Mehrkoordinatenantriebsmodule
- neue Einsatzgebiete für Antriebssysteme

Auskünfte zu beiden Tagungen erteilt:
Bezirksvorstand der KDT Suhl
Straße der OdF 29, Suhl, 6000
Tel.: 2 21 12.

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 32 (1989) 3, S. 97—144